

原著論文

沖縄県八重山地域におけるインド型水稻品種「北陸 193 号」と「カーチバイ」の栽培に適した移植時期と施肥量の特定を試み

大野 豪・喜友名栄輝

沖縄県農業研究センター石垣支所

要 約

八重山地域の水稻二期作栽培における遊休水田の有効活用のための方策のひとつとして、泡盛原料としてのインド型品種の栽培が考えられる。そこで、本地域におけるインド型品種の栽培を支援するための研究の第一歩として、沖縄諸島北部で栽培されている 2 品種「北陸 193 号」と「カーチバイ」を供試し、栽培に適した移植時期と施肥量を検討するための圃場試験を石垣島で行った。移植時期に関しては、7 月前半から 8 月後半にかけての期間を検討し、双方の品種において、生育・収量に関する種々の特性が時期間で顕著に異なることを示した。この中で玄米収量に着目すると、「北陸 193 号」では 7 月後半の移植が、「カーチバイ」では 7 月後半から 8 月前半にかけての移植が適していると考えられた。施肥量については、元肥一発型の緩効性肥料 (LPBB2133 ; N:P:K = 21:13:13) を用い、八重山地域におけるうるち米品種の二期作での基準施肥量 (4.8 Nkg/10a) と、それより 1.5 ~ 3 倍の多肥条件で「カーチバイ」では半量の減肥条件も含めて) 諸特性を調べた。その結果、双方の品種において、いくつかの生育特性に施肥量による差が生じたものの、玄米収量に有意差がみられることはなかった。このため、双方の品種とも施肥量は 4.8 Nkg/10a で十分であり、「カーチバイ」についてはその半量でも問題ないものと考えられた。本研究および過去の 1 例により、石垣島における両品種の玄米収量は 1a あたり 40kg 前後となることが判明したが、この値は沖縄諸島北部や日本本土、フィリピンでの研究例 (50kg/a 以上) より少なかった。その一方で、今回得られた生育データは、無効分げつの抑制やシンク充填率の向上を実現すれば、さらに増収できる可能性を示唆しており、これらの点についてのさらなる研究が必要である。

キーワード：インディカ米，休耕田，シンク容量，水田の多面的機能，登熟歩合。

緒 言

沖縄県の八重山地域に属する石垣島と西表島、ならびに沖縄諸島の北部地域では、その温暖な気候を活かして水稻 (*Oryza sativa* L.) の二期作栽培が行われているが、いずれの地域においても、水田面積は他県と同様に年々減少しており、その減少程度は、二期作栽培の一作目 (以下、単に「一期作」と略) と比して、高温や台風等の影響によって低収となる二作目 (以下、「二期作」と略) でより大きい (沖縄県農林水産部, 2023)。水田は食糧生産の場であると同時に、洪水や土砂崩れ等の自然災害の防止、地下水の涵養、気候変動の緩和、生物多様性の保全、文化の継承等のさまざまな機能をもつため (Matsuno *et al.*, 2006)、水田の減少は、こうした多面的機能の損失という点からも問題視されている。特に八重山地域では、水田を含む湿地を餌場として利用する絶滅危惧種カンムリワシ *Spilornis cheela perplexus* Swann (Ueta and Minton, 1996; 水谷ら, 2022) をはじめとして、多くの固有種や希少種が湿地とその周辺に生息しているため、これら湿地性の生物の生息地としての水田の役割 (鷲谷, 2007;

Natuhara, 2013) も重視されている。最近では西表島が世界自然遺産に登録されたことにより、本地域における環境保全への気運がより高まっている (伊澤, 2022; 吉田, 2022)。このため、本地域の水田減少の阻止、特に二期作における遊休水田の有効活用のための方策は、農家所得の向上や国土保全のために不可欠であるのと同時に、世界自然遺産登録地とその周辺の生物多様性保全においても重要な意味をもつ。

このような、八重山地域における遊休水田の有効活用に寄与しうる方策のひとつが、泡盛の原料としての利用を主目的としたインド型水稻品種の栽培である。2019 年に内閣府によって立ち上げられた「琉球泡盛テロワールプロジェクト」(沖縄総合事務局, 2019) により、従来は輸入に頼っていた泡盛原料米の沖縄県内における生産の試みが開始され、現在では沖縄諸島北部に位置する伊平屋島と伊是名島での二期作において、インド型品種の遺伝的背景をもつ多収性品種、「北陸 193 号」(Goto *et al.*, 2009) と「カーチバイ」(旧名 YTH183 : Kato *et al.*, 2011; Ishimaru *et al.*, 2017) が栽培されている。現在、沖縄県農業研究センター名護支所 (以下、農研セ名護支所

と略)において、両島における 2 品種の栽培を支援するための試験が進められており、栽培に有用となる知見が蓄積されつつある(株式会社パートナーブレイン, 2020; 伊禮ら, 2021; 田中ら, 2021, 2022a,b)。一方、八重山地域では、両品種の栽培特性および「カーチバイ」の移植時期と収量等との関係について、反復のない圃場試験によって予備的に調べられた 1 試験例(株式会社パートナーブレイン, 2020)があるにすぎない。そこで本研究では、八重山地域の二期作におけるインド型品種の栽培技術確立に向けた研究の第一歩として、これら上記 2 品種の生育・収量に関する諸特性と移植時期との関連、ならびにこれら諸特性に施肥量が及ぼす影響を調べるための圃場試験を 2021 ～ 2022 年の 2 年間にわたり実施した。

材料および方法

試験圃場および実験デザイン

2021 年には、沖縄県農業研究センター石垣支所内の隣接する 2 つの試験用水田(圃場 A: 2.1a; 圃場 B: 2.7a; いずれも沖積土壌)にそれぞれ「北陸 193 号」と「カーチバイ」を移植し、2022 年には 2 品種の配置を圃場 A・B 間で入れかえて試験を実施した。両年において、沖縄県八重山農林水産振興センター農業改良普及課によって実施された土壌診断にこれら 2 圃場の土も供されたため、その結果を表 1 に示した。施肥については、生育期間の長いインド型品種向けに試作された、元肥一発型の緩効性肥料 LPBB2133 (N:P:K = 21:13:13; 琉球肥料(株))を用い、八重山地域向けのうち米品種の栽培指針(沖縄県農業研究センター石垣支所・沖縄県八重山農林水産振興センター農業改良普及課, 2017)における二期作の基準窒素量(10a あたり 4.8 ～ 6.4 Nkg)に準じ、便宜的

に 4.8 Nkg/10a を基準量とした。

2021 年の試験では、移植時期と生育・収量との関連を見るために、品種ごとに 7 月前半区、7 月後半区、8 月前半区、8 月後半区の 4 区(いずれも施肥は基準量)を設けた。さらに、施肥量の影響を見るために、8 月前半区と同日に移植する区として、施肥量が基準よりも多い 2 区(「北陸 193 号」では 9.6 Nkg/10a 区と 14.4 Nkg/10a 区、「カーチバイ」では 7.2 Nkg/10a 区と 9.6 Nkg/10a 区)を加え、計 6 試験区を 3 反復(ブロック)の乱塊法により配置した。いずれの品種とも、1 試験区の面積を 8.8m² (1.95m×4.5m; 12 株×14 条)とし、各ブロック内の区間を、幅 30cm の畔波板を半分程度の深さまで埋め込むことによって仕切った。区の内外を仕切る畔波板の下には各区 1 個ずつ、硬質ポリ塩化ビニル管で作成した U 字管(内径 20 mm)を開口部が水面と同じ高さになるように埋め込み、降雨時の過剰な水が枠外に排出されるようにした。

2022 年の試験では、生育・収量と移植時期の関連、それらへの施肥量の影響と、移植時期と施肥量の交互作用を同時に調べるため、いずれの品種においても、移植時期 3 水準と施肥量 2 水準を総当たりで組み合わせた計 6 試験区を設け、これを 4 反復の乱塊法により配置した。「北陸 193 号」では移植時期を 7 月前半、7 月後半および 8 月前半、施肥量を基準とその 2 倍量(9.6 Nkg/10a)、1 区の面積を 8.6m² (2.85m×3.0m; 18 株×9 条)とした。「カーチバイ」では移植時期を 7 月後半、8 月前半および 8 月後半、施肥量を基準とその半量(2.4Nkg/10a)、1 区の面積を 7.0m² (1.95m×3.6m; 12 株×11 条)とした。2021 年と同様に、区間を畔波板で仕切り、U 字管を埋め込んだ。

育苗から収穫までの管理

2021 年の試験には、農研セ名護支所より、休眠覚醒の

表 1. 試験圃場の土壌診断結果¹⁾

	2021 年		2022 年	
	圃場 A	圃場 B	圃場 A	圃場 B
pH	6.9	6.7	6.7	7.0
電気伝導度 (EC, mS/cm)	0.1	0.1	0.0	0.0
交換性石灰 (mg/100g)	218	191	223	253
交換性苦土 (mg/100g)	22	16	31	32
交換性加里 (mg/100g)	23	20	18	19
可給態リン酸 (mg/100g)	29	23	29	22
可給態ケイ酸 (mg/100g)	38.6	50.8	14.0	15.1
腐植 (%)	1.2	1.1	1.3	1.2
陽イオン交換容量 (CEC, me/100g)	18.0	18.0	12.0	12.0
石灰・苦土比	7.2	7.2	5.2	5.7
苦土・加里比	2.2	2.2	4.0	4.0
推定硝酸態窒素 (mg/100g)	1.7	1.7	2.0	2.0
供試品種	北陸 193 号	カーチバイ	カーチバイ	北陸 193 号

1) 入水・移植前の土壌の分析結果。供試品種の情報をのぞき、沖縄県八重山農林振興センター農業改良普及課よりデータ提供(分析は全農型土壌分析器 ZA-II による)。

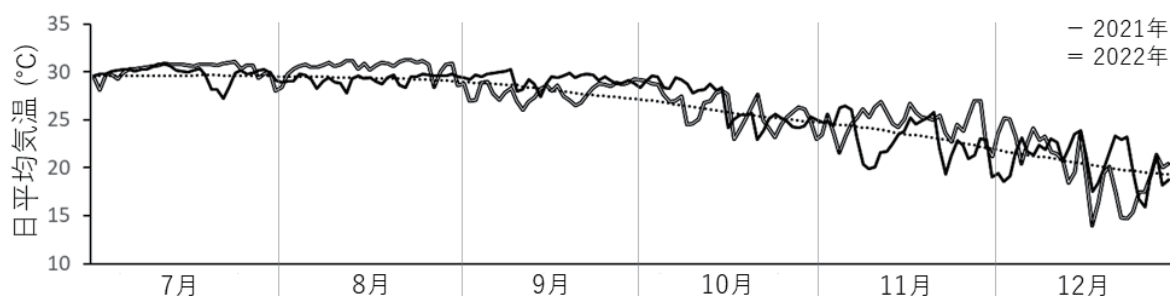


図 1. 試験期間中の石垣島地方気象台における日平均気温の推移。点線は平年値（1991～2020 年の平均）。

ために 50℃ で 7 日間保温された 2 品種の種子を譲り受け、これを供試した。2022 年の試験では、2021 年の試験圃場内の試験区外に 8 月上旬に移植した株から採種して 10℃ 下に保存し、使用前に同様に休眠覚醒させてから供試した。いずれの年・品種・試験区においても、表 2 に示したスケジュールに沿って以降の作業を行った。すなわち、移植 15～16 日前に種子を水道水に浸漬し、浮かんだものを不稔粒として除去したのち、表 2 に示した薬液に 24 時間浸漬して消毒し、さらに 2 日間水に浸種した。育苗箱（内寸 58cm×28cm×2.8cm）に水稻育苗用培土（くみあい培土，JA おきなわ）を 6 割程度の深さまで入れ、移植 12～13 日前に、これに十分量灌水して 180g ずつ播種し、殺菌剤（表 2）を灌注したのち同じ培土で覆土し、育苗用シートを被覆して日陰に 3 日間保管した。その後、シートを剥がして 5 時間前後放置して苗を緑化させ、以降は天井にビニール（農サクビ）を張った育苗ハウス内に、育苗箱がその高さの半分程度まで浸水するようにして保管した。なお、2021 年 7 月 21 日から 24 日にかけて台風 6 号が接近したため、その期間だけ 7 月下旬区の苗箱をガラス室内に保管した。圃場については、全面をいったん代掻きしたのち、各区を畔波板で仕切る前後（移植 2～4 日前）に、移植予定場所の代掻きを再度行った上で、移植に向け水位を下げた。移植前日に、試験区に応じた量の上記肥料を散布した。移植当日に箱処理剤（表 2）を苗箱に散布したのち、各区内に 3～4 葉齢の苗（苗丈は「北陸 193 号」で 18～26cm、「カーチパイ」で 20～28cm）を株あたり 4 本、株間 15cm・条間 30cm で手植えた。移植 6～7 日後に再度水位を上げ、除草剤（表 2）を処理した。以降収穫まで、1 週間おきに浅水・深水となるよう水位を変動させた（移植時期が異なる区を 1 圃場内に配置しているため、特定の区だけ落水することが困難であり、したがって中干しについては実施していない）。移植 48～49 日後に除草剤、殺菌剤と殺虫剤（表 2）を、さらに穂揃期から 1～4 日後にも殺虫剤（表 2）を処理

した。試験期間中の日平均気温の推移を、平年値とともに図 1 に示した。

なお、2021 年 9 月中旬に台風 14 号が、2022 年 9 月上旬と中旬にそれぞれ台風 11 号と 12 号が接近したが、いずれの区においても出穂は始まっておらず、葉先の裂傷・変色といった軽微な被害がみられた程度であった。2022 年には、「北陸 193 号」の 7 月前半区において、移植 2 週間後からセセリチョウ科の幼虫による葉の食害が確認されたため（うち 2 頭の幼虫を飼育し羽化させたら、いずれもヒメイチモンジセセリ *Parnara bada* Moore であった）、移植 21 日後にも殺虫剤（表 2）の処理を行い、7 月後半以降に移植した同品種と「カーチパイ」にも同様に、移植 21 日後に同剤を処理した。また同年には、「北陸 193 号」の 7 月前半区において、出穂後にスズメ類 *Passer* spp. が飛来し、穀を食害するのがたびたび観察されたが、7 月後半以降に移植した区・品種では目立った食害はみられなかったため、これらへの対策は行わなかった。

サンプリングおよび調査法

2021 年には、いずれの区においても、外周部（畔波板に隣接する株）をのぞく任意の 5 株の株元に着果棒を立ててマークし、これらの株を対象に、移植 4 週間後から穂揃期まで、6～8 日間隔で草丈（株元から最長葉の先端または穂の先端までの長さのうち長いほう）を 1cm 単位で測定し、茎数を記録した。出穂については区ごとに、出穂始期（有効茎のうち 10～20% で出穂がみられた日）、出穂期（同、50%）、および穂揃期（同、80～90%）を達観で判定して記録した。移植日から出穂期までの日数を到穂日数、出穂始期から穂揃期までの日数を穂揃期間とした。「北陸 193 号」の成熟期は、西日本地域向けに作成された本品種の栽培の手引き（長田・小林，2019）にならない、出穂期からの積算気温が 1,200 日・℃ に達した日とした。本研究ではこの日から 3 日以内に、マークした 5 株を対象として、穂を含む全長が最も長い茎の稈長

(地表から穂首節までの長さ)と全長(同、穂の先端までの長さ)を 2mm 単位で測定し(全長から稈長を引いた値を穂長とした)、穂数を記録した上で、籾数・登熟歩合調査と玄米収量・千粒重調査のためのサンプリングを行った。「カーチパイ」では、出穂から一ヶ月を超えると株の枯れ上がりや倒伏、脱粒が顕著になる場合があるため(株式会社パートナーブレイン, 2020)、移植時期にかかわらず、出穂期から一律 30 日前後(本研究では 28 ~ 32 日後)を収穫期とし、「北陸 193 号」と同様に稈長等のデータ記録とサンプリングを行った。籾数・登熟歩合調査には、マークした 5 株のうち任意の 3 株を刈りとり供し、玄米収量・千粒重調査には、外周部をのぞく範囲から 60 株を刈りとり供した。籾数・登熟歩合調査株については、3 株を束ねて乾燥舎で 2 週間乾燥させたのち、各サンプルについて穂数を記録し、籾をクシ等を用いてしごき、籾を外れたものと穂に残ったものに分け、双方を(後者は不稔籾として)計数した。外れたものについては、水道水に浸漬し、浮かんだものを不稔籾として除去したのち再計数し、これらの値から登熟歩合を算出した。玄米収量・千粒重調査用の株については、12 ~ 15 株ずつ束ねて乾燥舎で 3 ~ 4 週間乾燥させたのち、脱穀・唐箕・籾摺りに供した。籾摺り後すみやかに、米麦水分計 PB-1D2((株)ケツト科学研究所)を用いて玄米の水分含量を 2 回測定し、その平均値を記録した。玄米千粒重については、割れ米・欠け米を除去した上で 25.0g を量りとり、これに含まれる粒を計数して算出した。玄米重・千粒重とも、水分含量 15% の時の値に換算した。

2022 年の調査法については、各区における草丈等調査対象株を 3 株としたこと、草丈等の調査開始時期を移植 3 週間後からとしたこと、および籾数・登熟歩合調査のためのサンプリング数を 2 株としたことをのぞき、2021 年と同様に行った。なお、「カーチパイ」の 8 月後半・基準施肥区の 1 ブロックの穂数については、1 株のデータの記録漏れにより 2 株のみのデータとなった。

データ解析

統計分析フリーソフト R version 4.0.3 (R core team, 2020) と、そのパッケージのひとつ lme4 (Bates *et al.*, 2015) の glmer 関数、および他のいくつかの R パッケージ(以下参照)を用い、2 品種それぞれのデータへの一般化線形混合モデル (generalized linear mixed model; 以下 GLMM と略) のあてはめと、移植時期・施肥量等の効果の検定を行い、必要に応じて試験区間での多重比較も行った。2021 年の試験においては、移植時期の影響評価試験と施肥量の影響評価試験の双方で、8 月前半・基準施肥区のデータを使用するため、これら 2 つの試験は統計的には独立でない。このため、これら 2 試験を合わ

せた全体の有意水準を 0.05 とし、個々の有意性検定においては、これを試験数 2 で割った値 (0.025) よりも有意確率が小さければ有意であると判定した (Bonferroni 法)。2022 年のデータの検定では、有意水準 0.05 で判定した。移植時期や施肥量等の効果の検定に先立ち、草丈、玄米重等の計量データについては、R パッケージ lmerTest (Zeileis and Hothorn, 2002) の lmerTest 関数を用いて、確率分布に正規分布を仮定してリンク関数を用いないモデル、正規分布を仮定しリンク関数を対数としたモデル、およびガンマ分布を仮定しリンク関数を対数としたモデルの対数尤度をそれぞれ算出し、尤度比検定によってこの値が他より有意に高かった組み合わせを採用した。茎数、籾数等の計数データについてはポアソン分布を仮定し、リンク関数を対数としたモデルをあてはめた。なお籾数では、穂あたりの数(一穂籾数)として比較するため、合計籾数を目的変数とし、調査穂数の対数をオフセット項としてモデルに加えた。登熟歩合に関しては、登熟籾・不稔籾の計数データに対し、二項分布を仮定し、リンク関数を logit としたモデルをあてはめた。いずれの場合においても、R パッケージ car (Fox and Weisberg, 2019) の Anova 関数を用い、II 型の逸脱度分析によってモデルに含めた固定効果の有意性を検定した。

2021 年における草丈・茎数の経時的データについては、移植時期あるいは施肥量と、移植後週数、およびそれらの交互作用を固定効果、3 ブロックと全調査株(移植時期の影響評価では 60 株、施肥量の影響評価では 45 株)をランダム効果とした GLMM をあてはめた。なお、移植時期間の比較においては、調査期間が 1 週異なる場合があったため(結果を参照)、統計解析の際には、調査期間が長いほうの区の最後の 1 週のデータを除外した。他の諸特性については、原則として移植時期あるいは施肥量を固定効果、ブロックをランダム効果とした GLMM をあてはめた。移植時期あるいは施肥量の効果が有意だった場合、R パッケージ multcomp (Hothorn *et al.*, 2008) の glht 関数を用い、同じ GLMM に基づいて、移植時期あるいは施肥量が異なる区間で Tukey 型の多重比較を行った。ただし、「北陸 193 号」の施肥量試験の到穂日数においてのみ、いずれの試験区においても値が 3 ブロック間で同一であったため、上記の GLMM からランダム効果としてのブロックを除いたモデル (GLM) をあてはめ、R パッケージ emmeans (Length, 2022) を用いて Tukey 型の多重比較を行った。

2022 年における草丈・茎数の経時的データについては、移植時期、施肥量、移植後週数とそれらの二元交互作用を固定効果、4 ブロックと全調査株 (72 株) をランダム効果とした GLMM をあてはめた。2021 年と同様に、試験区間で調査期間が 1 週異なる場合があったため(結果

を参照), 解析の際には期間が長いほうの区の最後の1週
のデータを除外した。他の諸特性については, 移植時期,
施肥量とそれらの交互作用を固定効果, ブロックをラン
ダム効果とした GLMM をあてはめ, いずれかの固定効

果が有意だった場合, 6 試験区を固定効果, ブロックを
ランダム効果とした GLMM に基づき, 2021 年と同じ R
パッケージ・関数を用いて試験区間での Tukey 型の多重
比較を行った。

表 2. 育苗から収穫にかけての作業スケジュール¹⁾

時期	作業内容, 使用した農業資材等
移植 15~16 日前	種子選別 (水道水), 種子消毒 [テクリード®Cフロアブル, スターナ®水和剤, スミチ オン®乳剤の混合液 (希釈倍率はそれぞれ, 200 倍, 200 倍, 1000 倍となるよう調製) に 24 時間浸漬]
移植 14~15 日前より 2 日間	浸種 (水道水), 水かえ (1 日 1 回)
移植 12~13 日前	播種 (180g/箱), 殺菌剤処理 [タチガレエース M®液剤 (1,000 倍, 1L/箱) 灌注], 覆土, 育苗用シート [シルバーラプ#90, 東罐興産 (株)] 被覆
移植 9~10 日前	育苗用シート除去, 育苗ハウスへ移動
移植 2~4 日前	仕上げ代掻き
移植前日	元肥施用 [LPBB2133 (N:P:K = 21:13:13)]
移植当日	箱剤処理 [デジタルコラトップアクタラ®箱粒剤 (50g/箱)]
移植 6~7 日後	除草剤処理 [スパークスター®1 キロ粒剤 (1g/m ²)]
移植 21 日後 (2022 年のみ)	殺虫剤処理 [パダン®粒剤 4 (3g/m ²)]
移植 48~49 日後	除草剤 [スケダチ®粒剤 (1.5g/m ²)]・殺菌剤 [フジワン粒剤 (4g/m ²)]・殺虫剤 [キラ ップ®粒剤, パダン®粒剤 4 (ともに 3g/m ²)] 処理
穂揃期から 1~4 日後	殺虫剤処理 [スタークル®豆つぶ (0.5g/m ²)]

1) 特にことわらないかぎり, 2 年・2 品種共通。

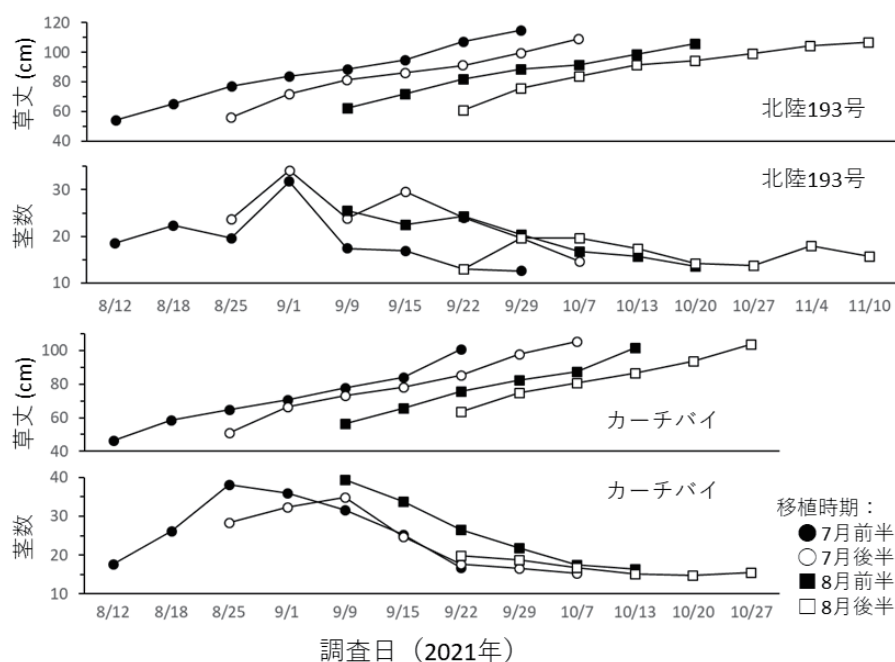


図 2. インド型 2 品種における移植時期と, 移植後 4 週から穂揃いまでの草丈・茎数の平均値の
推移との関係 (施肥量はいずれの区においても 4.8Nkg/10a)。

結 果

「北陸 193 号」の生育・収量と移植時期との関連 (2021 年)

草丈と茎数の経時的データへの GLMM あてはめの結果、いずれにおいても移植時期、移植後週数とそれらの交互作用が統計的に有意となり ($p < 0.025$; 草丈の確率分布はガンマ分布, リンク関数は対数), 草丈の成長や茎数の変化のパターンが移植時期によって異なることがわかった. 平均値の推移 (図 2) を見ると, 特に茎数でこの差が顕著であり, たとえば 7 月前半・7 月後半区ではいったん増加したのち減少し, 8 月前半区では初回の調査時に最大となっており, 以降減少していた一方, 8 月後半区では, 他の区と比べて茎数の経時変化が小さかった. 到穂日数は, 7 月前半区から 8 月前半区にかけて有意に短くなっていき, 一方で 8 月後半区の値は 7 月後半・8 月前半区よりも有意に長くなり, 7 月前半区と有意に異ならなかった (表 3, 以下同様). 穂揃期間は, 8 月後半区において他の 3 区より有意に長く, 出穂がばらつくことがわかった. 稈長については, 7 月前半・7 月後半区間に有意差はみられなかったが, 8 月前半区ではこれら 2 区より有意に短くなり, 8 月後半区ではさらに短くなった. 穂長と穂数は移植時期間で有意に異ならなかった. 一穂粒数については, 7 月前半区から 8 月前半区にかけて有意に減少していき, 8 月後半区では再び増加し, 7 月後半区と同等となった. 登熟歩合はすべての移植時期間で有意に異なり, 7 月後半区で最も高く, その前後で低くなった. 千粒重については, 7 月前半区から 8 月前半

区にかけて有意に増加していき, 8 月前半・8 月後半区間には有意差はみられなかった. 玄米収量については, 7 月後半区の値が他区より有意に高く, 続いて 7 月前半区, 8 月前半・8 月後半区の順に低くなり, 8 月の 2 区間に有意差はみられなかった.

「カーチバイ」の生育・収量と移植時期との関連 (2021 年)

草丈と茎数の経時的データについては, 「北陸 193 号」と同様に, 移植時期, 移植後週数とそれらの交互作用のいずれも有意となり ($p < 0.025$; 確率分布も同様), 平均値の推移 (図 2) についても類似した傾向を示した. 到穂日数は, 7 月前半区から 8 月前半区にかけて有意に短くなっていき, 8 月前半・8 月後半区間では有意に異ならなかった (表 3, 以下同様). 穂揃期間については, 7 月前半区の値が 8 月前半区の値よりも有意に長く, 他の 2 区についてはそれらの中間の値を示し, 双方とも有意に異ならなかった. 稈長, 穂長および穂数は移植時期間で有意に異ならなかった. 一穂粒数については, 移植時期が遅くなるほど有意に増加していく傾向がみられたが, 7 月後半区と 8 月前半区の間には有意差がみられなかった. 登熟歩合については, 7 月後半区の値が他の区より有意に高く, 続いて 8 月前半・8 月後半区 (これらの間には有意差なし), 7 月前半区の順に低くなった. 千粒重については, 7 月前半区の値が他の 3 区より有意に小さく, 3 区間には有意差はみられなかった. 玄米収量も同様に, 7 月前半区で有意に小さく, 他の 3 区間には有意差がみられなかった.

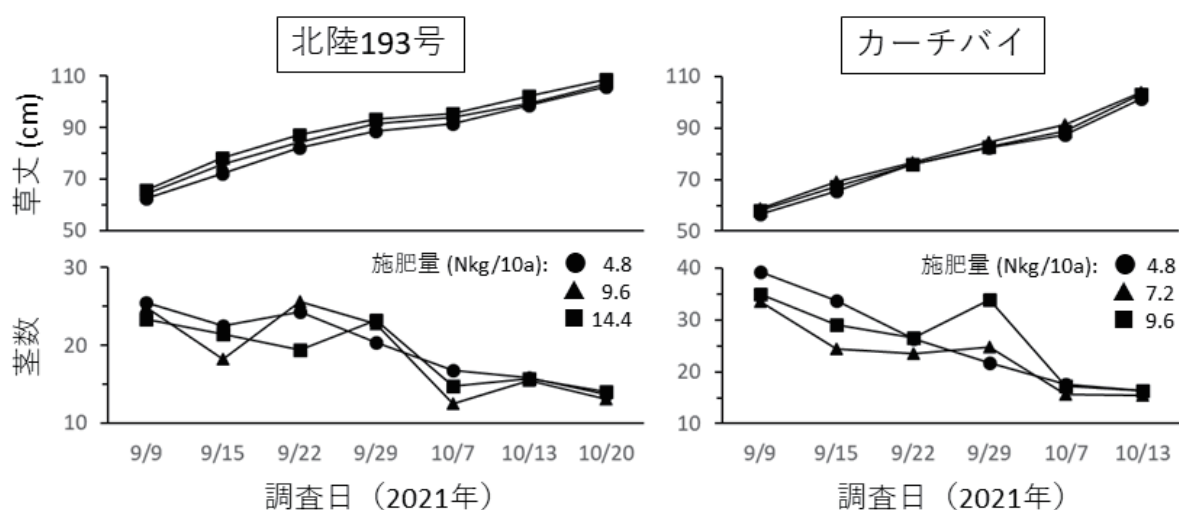


図 3. インド型 2 品種における施肥量と, 移植後 4 週から穂揃いまでの草丈・茎数の平均値の推移との関係. 施肥量 4.8 Nkg/10a 区のデータは, 図 2 における 8 月前半区のものと同じ.

表 3. インド型水稻 2 品種の生育・収量データに対する移植時期の影響 (2021 年)¹⁾

品種／ 移植時期 (日)	到穂日数 ²⁾ (出穂期)	穂揃 期間 ³⁾	収穫日	稈長 (cm) ^{4,5)}	穂長 (cm) ^{4,5)}	穂数/株 ⁴⁾	一穂 粒数	登熟歩合 (%)	千粒重 (g) ²⁾	1 坪[1a]あたり 玄米収量(kg) ⁵⁾
北陸 193 号										
7 月前半 (7/15)	66.0 a (9/19)	6.33 b	11/2	83.8 a	24.1	10.9	99.8 a	44.3 b	21.4 c	0.87 [26.4] b
7 月後半 (7/29)	65.3 b (10/2)	6.67 b	11/19	83.1 a	22.9	13.5	91.2 b	67.9 a	22.3 b	1.03 [31.0] a
8 月前半 (8/12)	63.0 c (10/14)	6.67 b	12/7	79.6 b	22.3	12.5	80.5 c	38.7 c	23.0 a	0.66 [20.1] c
8 月後半 (8/26)	66.3 a (10/31)	9.33 a	12/24	69.9 c	21.9	13.9	97.1 b	29.3 d	22.8 ab	0.53 [16.2] c
カーチバイ										
7 月前半 (7/15)	64.7 a (9/18)	4.00 a	10/18	79.7	23.4	16.5	78.2 c	17.9 c	22.6 b	0.48 [14.7] b
7 月後半 (7/29)	60.7 b (9/28)	3.67 ab	10/28	80.6	22.2	15.9	86.7 b	56.7 a	23.9 a	1.16 [35.2] a
8 月前半 (8/12)	57.3 c (10/8)	3.00 b	11/9	79.9	22.8	16.0	87.8 b	50.6 b	24.3 a	1.21 [36.6] a
8 月後半 (8/26)	56.7 c (10/22)	3.67 ab	11/22	77.2	20.2	15.3	98.7 a	49.4 b	24.3 a	1.16 [35.0] a

1) 数値は 3 ブロックの平均値。各品種内で同一文字を共有しない試験区間に有意差あり ($p < 0.025$; GLMM のち Tukey 型多重比較)。2) ガンマ分布 (リンク=対数)。3) 正規分布 (リンク=対数)。4) 各ブロック 5 株ずつ調査。5) 正規分布 (リンク関数なし)

「北陸 193 号」の生育・収量に施肥量が及ぼす影響 (2021 年)

草丈の経時的データについては、施肥量と移植後週数の効果が有意だったが ($p < 0.025$; ガンマ分布, リンク=対数), それらの交互作用は有意ではなく, 数値の上ではわずかであるが, 施肥量が多い区のほうが常に平均値が高い状態で成長していた (図 3)。茎数の経時的データでは, 移植後週数, およびそれと施肥量の交互作用が有意となり ($p < 0.025$), 茎数変化のパターンが施肥量によって異なることがわかった。たとえば, 4.8 Nkg/10a 区と 9.6 Nkg/10a 区では, 移植後 4 週 (9 月 9 日) から 5 週 (9 月 15 日) にかけて茎数が減少したのち, 6 週 (9 月 22 日) にかけて再度増加しているが, 14.4 Nkg/10a 区では, 移植後 4 週から 6 週にかけて減少したのち, 7 週 (9 月 29 日) にかけて再度上昇しているといった違いが観察され (図 3), こうした違いが有意な交互作用として検出されたと考えられる。到穂期間については, 4.8 Nkg/10a 区と他 2 区の間に有意差がみられ, 施肥量がより多い他 2 区のほうが出穂が 1 日遅れた (表 4, 以下同様)。穂揃日数, 稈長, 穂長, 穂数については 3 施肥水準間に有意差がみられず, 施肥量がこれらの特性に影響するという証拠は得られなかった。一方, 一穂粒数と登熟歩合については 3 施肥水準間に有意差がみられ, 一穂粒数は施肥量が増えるほど多くなり, 登熟歩合は 9.6 Nkg/10a 区で最も高く, 4.8

Nkg/10a 区, 14.4 Nkg/10a 区の順に低くなった。千粒重については, 4.8 Nkg/10a 区の値が他の 2 区より有意に大きかった。玄米収量は 3 施肥水準間で有意に異ならなかった。

「カーチバイ」の生育・収量に施肥量が及ぼす影響 (2021 年)

草丈の経時的データについては, 移植後週数の効果のみが有意であり ($p < 0.025$; ガンマ分布, リンク=対数), どの施肥水準においても同様に, 時間の経過とともに成長していた (図 3)。茎数の経時的データについては, 「北陸 193 号」と同様に移植後週数, およびそれと施肥量の交互作用が有意となり ($p < 0.025$), たとえば, 4.8 Nkg/10a 区においてはおおむね緩やかに減少していたのに対し, それより施肥量の多い区では, いったん減少してから再び増加し, また減少するといったパターンの違いがみられた (図 3)。到穂日数については, 4.8 Nkg/10a 区と 7.2 Nkg/10a 区の間に有意差がみられ, 後者で出穂が約 1 日遅れたが, 9.6 Nkg/10a 区の値は両者の中間であり, 双方とも有意に異ならなかった (表 4, 以下同様)。一方, 玄米収量を含む残りの特性すべてにおいて, 3 施肥水準間の有意差はみられず, 施肥量が影響するという証拠は得られなかった。

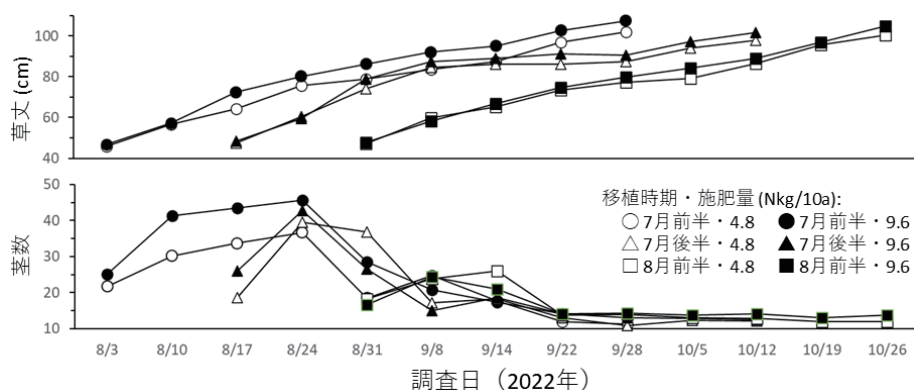


図 4. 「北陸 193 号」における移植時期・施肥量と, 移植後 3 週から穂揃いまでの草丈・茎数の平均値の推移との関係。

表 4. インド型水稻 2 品種の生育・収量データに対する施肥量の影響 (2021 年 8 月 12 日移植)¹⁾

品種／施肥量	到穂日数 ²⁾ (出穂期)	穂揃 期間 ³⁾	稈長 (cm) ^{4,5)}	穂長 (cm) ^{4,5)}	穂数/株 ⁴⁾	一穂 粒数	登熟歩合 (%)	千粒重 (g) ³⁾	1 坪[1a]あたり 玄米収量(kg) ⁵⁾
北陸 193 号									
4.8 Nkg/10a	63.0 b (10/14)	6.67	79.6	22.3	12.5	80.5 c	38.7 b	23.0 a	0.66 [20.1]
9.6 Nkg/10a	64.0 a (10/15)	6.00	79.2	23.9	12.7	83.4 b	45.7 a	22.3 b	0.84 [25.3]
14.4 Nkg/10a	64.0 a (10/15)	6.33	78.0	23.4	13.8	91.9 a	29.6 c	22.2 b	0.66 [20.1]
カーチバイ									
4.8 Nkg/10a	57.3 b (10/8)	3.00	79.9	22.8	16.0	87.8	50.6	24.3	1.21 [36.6]
7.2 Nkg/10a	58.0 a (10/9)	2.67	81.1	22.7	14.9	89.7	49.4	24.3	1.18 [35.7]
9.6 Nkg/10a	57.7 ab (10/9)	3.00	81.2	22.5	16.1	88.2	50.4	24.2	1.24 [37.6]

1) 数値は 3 ブロックの平均値。施肥量 4.8Nkg/10a 区のデータは、表 2 の 8 月前半区のものと同じ。収穫日は北陸 193 号で 12 月 7 日、「カーチバイ」で 11 月 9 日。各品種内で同一文字を共有しない試験区間に有意差あり ($p < 0.025$; GLM あるいは GLMM のち Tukey 型多重比較)。2) 「北陸 193 号」では正規分布、「カーチバイ」ではガンマ分布(ともにリンク=対数)。3) ガンマ分布(リンク=対数)。4) 各ブロック 5 株ずつ調査。5) 正規分布(リンク関数なし)。

「北陸 193 号」の生育・収量と移植時期・施肥量との関連 (2022 年)

草丈の経時的データについては、移植時期、施肥量、移植後週数の効果、ならびに移植時期・施肥量の交互作用と、移植時期・移植後週数の交互作用が有意だった ($p < 0.05$; 正規分布, リンク関数なし)。この結果は、草丈への施肥量の効果の現れかたが移植時期によって異なることと、成長パターンが移植時期によって異なることを示す。平均値の推移 (図 4) を見ると、4.8 Nkg/10a 区と 9.6 Nkg/10a 区の間の草丈の違いが、移植時期が遅い区ほど小さくなるように見え、また 7 月前半・8 月前半区では草丈がゆるやかに増加しているものの、7 月後半区では、いったん停滞したのち再度増加する傾向がみられる。こうした傾向の違いが有意な交互作用として検出されたものと考えられる。一方、施肥量と移植後週数の交互作用については、2021 年の施肥量試験と同様に有意でなく、施肥量が成長パターンに影響するという証拠はなかった。茎数の経時的データについては、移植時期、移植後週数とそれらの交互作用、および施肥量と移植後週数の交互作用が有意であり ($p < 0.05$)、茎数変化のパターンが移植時期や施肥量によって異なることがわかった。実際の平均値の推移 (図 4) を見ると、たとえば、茎数が最大となる時の移植後週数や、その時の値が移植時期によって異なっていたり (特に、8 月前半区で最大となった時の値が小さい)、あるいは 7 月前半区のデータだけに着目すると、初期には施肥量によってその値が異なるのに対し、後期ではほぼ同一になるといった傾向が読みとれる。このような傾向の違いにより、これら 2 つの交互作用が有意となったものと考えられる。

他の特性については、表 5 にデータを示した。到穂日数では移植時期の効果だけが有意になったものの、6 試験区間の多重比較では、どの区の間にも有意差がみられなかった。穂揃期間については、移植時期、およびそれと施肥量の交互作用が有意であり、施肥量の影響が移植時期によって異なると解釈されたが、実際には各移植時期内の施肥量が異なる区間に有意差がみられなかったため、こうした傾向は明瞭ではなく、全体として移植時期が遅いほうが穂揃い期間が短くなる傾向がみられた。稈長では、いずれの効果も有意ではなかった。穂長については、移植時期の効果だけが有意だったが、有意差がみられたのは施肥量 9.6 Nkg/10a の条件下での 7 月前半区と他 2 区の間だけであり、7 月前半区のほうが穂が短かった。穂数では、いずれの効果も有意ではなかった。一穂粒数については、移植時期、施肥量とそれらの交互作用すべてが有意であり、その値は 6 試験区的全組み合わせ間で有意に異なり、施肥量が多いほど、かつ移植時期が遅いほど多くなっていた (有意な交互作用は、移植時期間で、施肥量による粒数の差の程度が異なることによると思われる)。登熟歩合についても、移植時期、施肥量と交互作用すべて有意であり、多くの試験区の組み合わせ間に有意差がみられ、その値は 7 月後半・4.8 Nkg/10a 区で最も高く、7 月前半・4.8 Nkg/10a 区で最も低く、他の区はそれらの中間の値を示しており、移植時期や施肥量と関連した一貫した傾向はみられなかった。千粒重と玄米収量については、双方とも移植時期の効果だけが有意であり、7 月前半区の値が他の区より有意に小さかった。

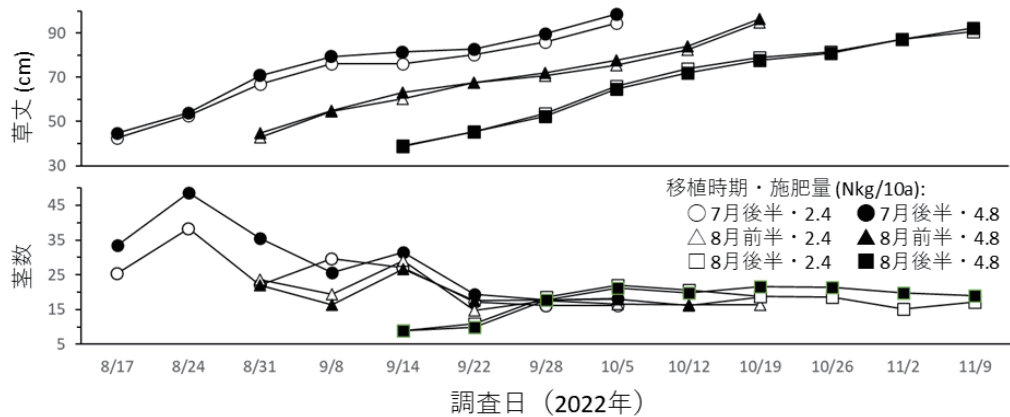


図 5. 「カーチバイ」における移植時期・施肥量と、移植後 3 週から穂揃いまでの草丈・茎数の平均値の推移との関係。

表 5. インド型水稻 2 品種の生育・収量データに対する移植時期と施肥量の影響 (2022 年)¹⁾

品種／ 移植時期 (日)	施肥量 (Nkg/10a)	到穂日数 ²⁾ (出穂期)	穂揃 期間 ³⁾	収穫日	稈長 (cm) ^{4,5)}	穂長 (cm) ^{4,5)}	穂数/株 ⁴⁾	一穂 粒数	登熟歩合 (%)	千粒重 (g) ²⁾	1 坪[1a]あたり 玄米収量(kg) ⁵⁾
北陸 193 号											
7 月前半 (7/13)	4.8	68.3 a (9/19)	6.50 ab	11/4	70.0	19.8 ab ⁶⁾	11.0	40.1 f ⁶⁾	46.3 d ⁶⁾	21.3 b ⁶⁾	0.55 [16.6] b ⁶⁾
	9.6	68.5 a (9/20)	6.75 a	11/4	73.3	19.4 b ⁶⁾	12.7	52.5 e ⁶⁾	57.1 c ⁶⁾	21.4 b ⁶⁾	0.36 [10.9] b ⁶⁾
7 月後半 (7/27)	4.8	68.5 a (10/4)	5.50 bc	11/21	70.8	21.9 ab	11.7	70.6 d	72.0 a	23.6 a	1.06 [32.1] a
	9.6	68.5 a (10/4)	5.00 c	11/21	71.1	22.1 a	12.8	80.2 c	62.3 c	23.5 a	1.08 [32.6] a
8 月前半 (8/10)	4.8	67.8 a (10/17)	4.75 c	12/7	70.5	21.8 ab	12.5	86.1 b	66.1 b	24.0 a	1.16 [35.1] a
	9.6	68.0 a (10/17)	5.25 c	12/7	70.2	22.2 a	13.0	94.1 a	67.0 b	24.0 a	1.20 [36.3] a
カーチバイ											
7 月後半 (7/29)	2.4	64.8 b (9/30)	6.00	10/31	68.1 c	21.6 ab	15.1	61.6 d	47.1 a	22.2 b	1.02 [30.9] ab
	4.8	64.5 b (9/30)	5.50	10/31	72.4 ab	23.1 a	17.5	75.3 b	48.1 a	22.3 b	1.05 [31.7] a
8 月前半 (8/12)	2.4	65.0 b (10/14)	5.75	11/14	70.2 bc	23.2 a	15.5	74.6 b	38.6 b	23.8 a	0.92 [27.8] ab
	4.8	64.8 b (10/14)	5.75	11/14	74.3 a	20.4 b	16.1	86.8 a	34.7 c	23.5 a	0.92 [28.0] ab
8 月後半 (8/26)	2.4	69.0 a (11/1)	5.50	12/1	68.4 c	21.6 ab	16.3	70.3 c	34.2 c	24.0 a	0.94 [28.6] ab
	4.8	69.0 a (11/1)	5.75	12/1	67.0 c	22.3 ab	18.6	77.3 ab	33.7 c	24.2 a	0.88 [26.7] b

1) 数値は 4 ブロックの平均値。各品種内で同一文字を共有しない試験区間に有意差あり ($p < 0.05$; GLMM のち Tukey 型多重比較)。2) ガンマ分布 (リンク=対数)。3) 正規分布 (リンク=対数)。4) 各ブロック 3 株ずつ調査。5) 正規分布 (リンク関数なし)。6) これらの値および統計検定結果には、スズメ類による籾の被害も同時に影響した可能性がある (本文も参照)。

「カーチバイ」の生育・収量と移植時期・施肥量との関連 (2022 年)

草丈と茎数の経時的データについては、双方において移植時期、移植後週数およびそれらの交互作用が有意であった ($p < 0.05$; 草丈ではガンマ分布, リンク=対数) 一方で、施肥量とそれを含む交互作用はいずれも有意ではなかった。この結果は、成長と茎数変化のパターンが移植時期によって異なる一方で、施肥量がそれに影響するという証拠はないことを示す。実際に、平均値の推移(図 5) においては、草丈の成長が停滞する期間の有無や時期が移植時期によって異なるように見え、また茎数においては移植時期によって、いったん増加したあとの減少のしかたが異なる (特に、8 月後半区では増加後ほとんど

減少していない) ように見え、上記の検定結果と符合している。

他の特性については、表 5 にデータを示した。到穂日数では移植時期の効果だけが有意となり、8 月後半区の値が他の区よりも大きかった。穂揃期間では、いずれの効果も有意ではなかった。稈長については、移植時期、施肥量とそれらの交互作用すべてが有意であり、7 月後半区と 8 月前半区では施肥量が多い区の方が長かったが、8 月後半区ではそのような差はみられず、かつ他の移植時期よりも短い傾向がみられた。穂長については、移植時期と施肥量の交互作用だけが有意であり、8 月前半区では施肥量が多い方が短くなっていたが、他の移植時期ではそのような差はみられなかった。穂数では、

いずれの効果も有意ではなかった。一穂粒数については、移植時期、施肥量と交互作用すべてが有意であり、多くの試験区の組み合わせ間に有意差がみられ、その値は 8 月前半区において他区より大きく、かつ施肥量が多いほうが大きかった（「北陸 193 号」の場合と同様、有意な交互作用は、施肥量による粒数の差の程度が移植時期間で異なることによると思われる）。登熟歩合についても、移植時期、施肥量と交互作用すべてが有意であり、その値は移植時期が遅くなるほど低下し、また 8 月前半区においては施肥量が多いほうが低かった一方、他の移植時期では施肥量による差はみられなかった。千粒重については、移植時期の効果だけが有意であり、7 月後半区の値が他の区よりも小さかった。玄米収量についても、移植時期の効果だけが有意だったが、有意差がみられたのは施肥量 4.8 Nkg/10a での 7 月後半・8 月後半の間だけであった。

考 察

本研究は、日本最南端の水田作地帯である八重山地域において初めて、インド型水稻品種の生育・収量に関する諸特性と移植時期との関連、ならびにそれら諸特性への施肥量の影響を体系的に検討し、本地域でこれら品種の栽培や、その改善に向けた研究を進めるための基礎となる重要なデータを得た。以下、移植時期と施肥量のそれぞれについて、推奨される時期（量）や、諸特性に差がみられた原因について考察し、さらに本地域におけるこれら品種の収量性について、他地域での研究例と比較しながら考察する。

推奨される移植時期、ならびに時期間での諸特性の差に関する考察

双方の品種において、生育・収量に関する種々の特性が移植時期間で顕著に異なることが判明した。特に、最も重要な特性である玄米収量に着目すると、「北陸 193 号」では、2021 年・2022 年の双方において、7 月前半区のほうが 7 月後半区よりも低収となった（表 3, 5；特に 2022 年における減収が顕著だったが、これにはスズメの被害も同時に影響した可能性がある）。さらに、2021 年では、8 月前半・後半区でも、7 月後半区より低収となっていた。これらの結果から、現時点では、「北陸 193 号」の移植時期として、今回調べた範囲内では、7 月後半が最も適していると言えるだろう。一方の「カーチパイ」では、2021 年の 7 月前半区の玄米収量が、それ以降に移植した区よりも顕著に低くなり（表 3）、また 2022 年の試験では、8 月後半区の収量が、7 月後半区よりも有意に低くなる場合があった（表 5）。これらの結果から、「カーチパイ」の移植時期としては、7 月後半から 8 月前半が適しており、

その範囲は「北陸 193 号」よりも広がっている。Takai *et al.* (2019) は、これら 2 品種を含むいくつかのインド型品種を、茨城県つくば市とフィリピンで栽培して玄米収量等を比較し、「北陸 193 号」が温帯地域での栽培に適しているのに対し、「カーチパイ」は温帯と熱帯の双方での栽培に適するとしている。本研究の結果は、気候的に熱帯に近い石垣島においては、温帯での栽培に向いている「北陸 193 号」に適した移植時期が、熱帯での栽培にも向く「カーチパイ」に適した移植時期よりも狭くなっているという点で、Takai *et al.* (2019) の結論と符合しているように見える。なお、農研セ名護支所においても 2 品種を対象とした移植時期と施肥量の検討が行われており、双方の品種において、7 月後半区と 8 月前半区では同等に収量が優れ、8 月後半区で劣るという結果が得られている（田中ら、2022a,b；7 月前半移植は調べられていない）。すなわち、「カーチパイ」については本研究と類似した結果となっているが、「北陸 193 号」については、石垣島よりも名護市のほうが移植に適する時期の範囲が広がっている。この傾向から、気候的により温帯に近い名護市では、石垣島よりも「北陸 193 号」の栽培に適する期間が長いと推察される。

本研究における移植時期と収量構成要素との関係に着目すると、双方の品種において移植時期間で穂数に有意差はなく、「北陸 193 号」では、粒数と千粒重では時期間に有意差がみられる場合があるものの、そこに一貫した傾向はみられず、その一方で登熟歩合は、7 月後半区以外の区にみられた減収と同調して低下していた（表 3, 5）。このため、本品種にみられた減収は、主として登熟歩合の低下によるものと考えられる。本研究における 7 月前半区にみられた登熟歩合の低下には、登熟期間中、特に 9 月下旬から 10 月中旬にかけて、双方の年において気温が高く推移した（図 1）ことが影響した可能性がある。また、8 月に移植した区における減収が、2021 年だけで観察された原因としては、登熟期間中（特に 11 月中旬～12 月初旬）の気温が 2022 年よりもほぼ一貫して低かった（図 1）ため、低温による登熟阻害が起きた可能性がある。鹿児島県で「北陸 193 号」の玄米収量等と移植時期との関係が調べられた事例（田中ら、2019）では、5・6 月移植と比べて、4 月移植と 7 月移植で減収しており、登熟期の気温は 4 月移植で最も高く、7 月移植で最も低くなっていたことから、本研究と類似した傾向がみられている。また、本品種の育成地である北陸地方においても、移植時期が遅くなるほど減収し、これは低温と関連した登熟歩合の低下によるとされている（松村ら、2008）。一方、「カーチパイ」の 2021 年・7 月前半区における減収に関しては、粒数、登熟歩合と千粒重が、それ以降に移植した区よりも有意に少なく（低く）なっていたが、中でも登熟歩合の低下が顕著であった（表 3）。2022 年の 8 月後

半区においても、7 月後半区と比べて登熟歩合が低下している一方、千粒重はむしろ大きくなっている（表 5）ため、前者における減収にも登熟歩合の低下がより強く影響していることがわかる。このため、「カーチパイ」においても、登熟期の高温あるいは低温によって登熟歩合が低下し、減収につながった可能性が考えられる。「北陸 193 号」における低温と登熟の関係については、上述の松村ら（2008）に加え、冷水での栽培によって耐冷性を調べた研究（後藤ら、2008）もあり、本品種の開花期における耐冷性は、「コシヒカリ」等と同等の「中」であると判定されている。その一方で、高温が本品種の登熟歩合に及ぼす影響は明らかでなく、また「カーチパイ」の登熟についても、低温・高温の影響とも詳細は不明である。したがって、上記の考えが正しいかどうかを解明するためには、気温を制御した栽培条件下での試験が必要である。

本研究はまた、双方の品種において、いくつかの生育特性やその経時的変化のパターンが、移植時期間で異なる場合があることを明らかにした。特に、茎数変化のパターンの差は顕著であり、「北陸 193 号」の 8 月前半・後半区と「カーチパイ」の 8 月後半区では、茎数は明確なピークを示さずに、ゆるやかに変化していた一方で、それら以前に移植された区では、時期や年によってピークの位置が異なる場合があるものの、茎数がいったん増加したのち減少に転ずるという共通した傾向がみられた（図 2、4-5）。双方の品種において、穂数に移植時期間の有意差がみられた場合はなかったため（表 3、5）、この結果は、早い時期に移植した区のほうで、より多くの無効分げつが生じたことを意味する。これはおそらく、移植時期が早い区のほうが、生育初期により高温となるため、それによって分げつ数の増加を含む生育が旺盛になったためと思われる。水稻栽培では一般に、無効分げつを抑制して有効茎歩合を高めると、収量も優れるとされる（大江、2008）。このため、「北陸 193 号」の 7 月後半以前の移植と、「カーチパイ」の 8 月前半以前の移植では、さらに増収する余地があると考えられるだろう。日本本土の研究例では、無効分げつの抑制には深水管理や中干しの実施等が有効であるとされるため（大江、2008；松波ら、2016；これらの引用文献も参照）、今後は上記の移植時期において、こうした処理による増収が可能かどうか調べる必要がある。ただし、中干しの実施については、生物多様性に負の影響を及ぼす場合が多いことも知られるため（片山ら、2020）、八重山地域において中干しの有無や期間がインド型品種の収量に及ぼす影響を調べる際には、生物多様性への影響を同時に評価することが望ましい。

他に特筆すべき点として、移植時期間で稈長に有意差がみられるか否かが、調査年によって異なったことが挙げられる。「北陸 193 号」では、2021 年には差がみられ、

移植時期が遅くなるほど短稈となっており（表 3）、2022 年には時期間での差はみられなかった（表 5）。一方の「カーチパイ」は逆の傾向を示し、2021 年には時期間の差がみられなかったが（表 3）、2022 年には差がみられる場合があり、施肥量 4.8 Nkg/10a の 8 月後半区では、その前の移植時期よりも短稈となっていた（表 5）。本研究では、2021 年と 2022 年の間で、隣接する 2 圃場の品種の配置を入れかえて圃場試験を実施したため、これらの結果は、圃場間での何らかの環境要因（たとえば、地力等）の差異に起因した可能性がある。これら 2 圃場の土壌分析の結果（表 1）を見ると、多くの項目において、圃場間での一貫した違いがみられないのに対し、両年を通じて、可給態リン酸の値は圃場 B よりも圃場 A のほうで高く、逆に可給態ケイ酸の値は圃場 A よりも圃場 B のほうで高かった。両品種において、稈長の移植時期間での有意差がみられたのは、圃場 A で栽培された場合に限られていたため、可給態リン酸が多い（あるいは可給態ケイ酸が少ない）ことが、時期間での稈長の差をもたらす原因となった可能性はあるだろう。この可能性は、沖縄県内におけるこれまでの試験栽培（株式会社パートナーズレイン、2020）において、倒伏しやすいことがすでに知られている「カーチパイ」を栽培する上で、かつ環境保全に寄与しうるリン酸減肥（たとえば、新良・伊藤、2016）を考慮する上でも重要となりうる。本研究では、2 品種双方において倒伏は観察されなかったものの、今回調べた範囲内で「カーチパイ」の移植に適するとされた 7 月後半・8 月前半では、8 月後半移植よりも長稈となる場合があり（表 5）、したがって倒伏のリスクも 8 月後半移植より高かったと考えることができる。このため、特に「カーチパイ」については、倒伏対策と減肥の双方の観点から、稈長や倒伏程度に及ぼすリン酸やケイ酸を中心とした肥料の成分組成の影響を、移植時期と関連づけて詳しく調べる必要があるだろう。

推奨される施肥量、ならびに施肥量間での諸特性の差に関する考察

施肥量については、これを変えた区の間で、双方の品種において、玄米収量に有意差が認められることはなかった（表 4-5）。このため、今回供試した肥料を用いる場合には、「北陸 193 号」については、八重山地域におけるうるち米品種の二期作での基準施肥量である 4.8 Nkg/10a（沖縄県農業研究センター石垣支所・沖縄県八重山農林水産振興センター農業改良普及課、2017）と同等でよく、また「カーチパイ」についてはその半量（2.4 Nkg/10a）でも問題ないものと考えられる。ただし、後者の収量等への減肥の影響については、2022 年の一回しか調査していないため、追加試験を行った上で結論するのが望ましい。また、「北陸 193 号」においては、基準量からの減肥

について今回は調べていないため、今後検討する必要がある。なお、農研セ名護支所における試験では、「カーチバイ」では本研究と同様に、増肥による有意な増収効果がみられていないが(田中ら, 2022b), 「北陸 193 号」では、倍量施肥による増収効果が確かめられている(田中ら, 2022a)。すなわち、「北陸 193 号」については、移植時期だけでなく施肥量に関する試験結果も、石垣島と名護市の間で異なるようである。こうした違いもまた、本品種の温帯地域での栽培適性と関係している可能性があるが、現時点ではその理由は不明であり、今後のさらなる研究が必要とされる。

本研究では、施肥量によって収量が有意に変化しなかった一方で、いくつかの収量構成要素や、生育特性の経時的変化のパターンが変わる場合があり、これは増肥による増収が可能となる余地がある可能性を示唆する。たとえば、「北陸 193 号」では双方の年において、「カーチバイ」では 2022 年において、施肥量が増えると一穂粒数が増加しているが、穂数に有意な変化はなく、千粒重についても 2021 年の「北陸 193 号」の 4.8 Nkg/10a 区をのぞけば有意差がみられなかった(表 4-5)。この結果は、双方の品種において、増肥によってシンク容量(粒数×千粒重)の増加が起こった場合があることを示している。吉永(2016)は、本州で「北陸 193 号」を栽培する場合、登熟期に一定の気象条件、すなわち出穂後 40 日間の平均気温 22.5℃以上、日射量約 15 MJ/m²/d 以上が確保されれば、シンク容量が増加しても、安定したシンク充填率が得られるとしている。八重山地域を含む沖縄県においても、今後さらに栽培試験のデータを蓄積し、それと気象条件との関係を調べれば、シンク容量とともに充填率も上げられるような条件を特定できるかもしれない。また、茎数の経時的変化に着目すると、双方の品種において、2021 年では茎数がいったん減少したのち増加し、再度減少するというパターンが、施肥量が多い区でより顕著となっており(図 3)、2022 年では増肥による生育初期の茎数増加程度が、移植時期が早い区でより大きくなっている(図 4-5)。このように、多肥によって無効分げつの数が再増加したり、移植時期が早まるとその数がより多くなるといった傾向がみられている。上ですでに述べたとおり、無効分げつの抑制は増収につながりうるため、これら 2 品種における深水管理や中干し等による分げつ抑制・増収効果については、施肥量とも関連づけて調べるのが望ましい。

他地域との収量性比較

本研究で供試した「北陸 193 号」と「カーチバイ」は、双方とも多収性の品種として知られ、九州以北の日本本土では、1a あたり 100kg 前後の玄米収量が実現されている(例:松村ら, 2008; Goto *et al.*, 2009; 吉永, 2016; 長田・

小林, 2019; Takai *et al.*, 2019; 田中ら, 2019; Okamura *et al.*, 2022)。日本本土と八重山地域の中間に位置する沖縄本島の北部地域では、日本本土よりは少ないものの、1a あたり 50 ~ 60kg 台の玄米収量が得られている(株式会社パートナーブレイン, 2020; 伊禮ら, 2021; 田中ら, 2022a,b)。また、八重山地域より南に位置するフィリピンのロスバニョスにおいても、1a あたり 60 ~ 70kg 台の玄米収量が得られている(Takai *et al.*, 2019)。一方、八重山地域における玄米収量は、多くても 40kg/a 前後であり(株式会社パートナーブレイン, 2020; 本研究)、他地域の例と比べて明らかに少ない。沖縄県農林水産部糖業農産課による試算では、これら 2 品種の泡盛原料としての買い取り価格はうるち米の価格より低いものの、うるち米の一期作と同程度(35kg/a 前後; 沖縄県農林水産部, 2023)の玄米収量が確保でき、かつ農林水産省による水田活用の直接支払交付金(戦略作物助成、産地交付金)を活用すれば、二期作のうるち米を上回る収益が確保できる可能性が提示されている(同課, 私信)。したがって、八重山地域における玄米収量が他地域より低くても、40kg/a 前後を安定的に生産できるのであれば、収益は確保できることが予想される。しかしながら、二期作では台風等の影響によって減収する場合もあるため、このような場合でも収益が得られる可能性を高めるために、より増収させる必要がある。そのためには、上述のような無効分げつの抑制やシンク充填率の向上の検討をはじめとした、増収に向けたさらなる研究が必要である。

謝 辞

圃場や収穫物等の管理、サンプル調製ならびにデータ取得作業を手伝って下さった沖縄県農業研究センター石垣支所職員の皆様、本稿を読んで有益なコメントを下さった同支所の浦崎直也支所長、前田剛希上席研究主幹および 2 名の匿名の査読者様、供試 2 品種の種子を提供して下さいったほか、栽培管理法全般についても助言して下さいった沖縄県農業研究センター名護支所の田中洋貴主任研究員、試験圃場の土壌を分析し、その結果を提供して下さいった内嶺景太氏をはじめとする沖縄県八重山農林水産振興センター農業改良普及課の皆様、ならびに沖縄県におけるインド型品種栽培の収益性についての情報を提供して下さいった沖縄県農林水産部糖業農産課の担当者に厚くお礼申し上げる。本研究は沖縄県農林水産部糖業農産課の「うちな一島米産地経営安定支援事業」(2021 年度)および「水稻経営安定支援事業」(2022 年度)の一環として行われた。

引用文献

- Bates, D., M. Maechler, B. Bolker and S. Walker (2015) Fitting linear mixed-effects models using lme4, *Journal of Statistical Software*, 67(1), p.1-48.
- Fox, J. and S. Weisberg (2019) *An R Companion to Applied Regression*, Third Edition, Sage Publications, p.608.
- 後藤明俊・笹原英樹・重宗明子・三浦清之 (2008) インド型イネにおける穂ばらみ期および開花期耐冷性の評価. *日本作物学会紀事* 77, 167-173.
- Goto, A., H. Sasahara, A. Shigemune and K. Miura (2009) Hokuriku 193: a new high-yielding indica rice cultivar bred in Japan, *Japan Agricultural Research Quarterly*, 43, p.13-18.
- Hothorn, T., F. Bretz and P. Westfall (2008) Simultaneous inference in general parametric models, *Biometrical Journal*, 50, p.346-363.
- Ishimaru, T., J. Qin, K. Sasaki, D. Fujita, R. B. Gannaban, P. D. Lumanglas, E.-V. M. Simon, A. Ohsumi, T. Takai, M. Kondo, B. Collard, S. Rustini, S. Voradeth, C. Boualaphanh, U. Susanto, A. Hairmansis, K. Hayashi, S. V. K. Jagadish, Y. Fukuta and N. Kobayashi (2017) Physiological and morphological characterization of a high-yielding rice introgression line, YTH183, with genetic background of Indica Group cultivar, IR 64, *Field Crops Research*, 213, p.89-99.
- 伊禮風沙・田中洋貴・田中 良・中野 洋 (2021) 「北陸 193 号」における再生株を利用した二期作省力化栽培技術の検討, 第 84 回九州農業研究発表会要旨 (作物部会), p.6.
- 伊澤雅子 (2022) 「奄美大島, 徳之島, 沖縄島北部及び西表島」-「島」の世界自然遺産の特徴, *ランドスケープ研究*, 86, p.96-99.
- 株式会社パートナーブレイン (編) (2020) 平成 31 年度 沖縄酒類製造業自立経営促進事業報告書 (アワモリ・ビジネス・パートナーシップ戦略), 株式会社パートナーブレイン, p.130.
- 片山直樹・馬場友希・大久保悟 (2020) 水田の生物多様性に配慮した農法の保全効果: これまでの成果と将来の課題, *日本生態学会誌*, 70, p.201-215.
- Kato, Y., A. Henry, D. Fujita, K. Katsura, N. Kobayashi and R. Serraj (2011) Physiological characterization of introgression lines derived from an indica rice cultivar, IR64, adapted to drought and water-saving irrigation, *Field Crops Research*, 123, p.130-138.
- Length, R. V. (2022) emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means, R Package Version 1.7.3, <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
- 松村 修・大角壮弘・古畑昌巳・元林浩太・小島 誠 (2008) インド型超多収水稻品種「北陸 193 号」は寒冷地南部では遅植えすると減収する, *中央農業総合研究センター成果情報*, <https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/narc/2008/narc08-43.html>.
- 松波寿典・児玉 徹・佐野広伸・金 和裕 (2016) 美味しい米作りのための栽培学的アプローチ, *日本作物学会紀事*, 85, p.231-240.
- Matsuno, Y., K. Nakamura, T. Masumoto, H. Matsui, T. Kato and Y. Sato (2006) Prospects for multifunctionality of paddy rice cultivation in Japan and other countries in monsoon Asia, *Paddy and Water Environment*, 4, p.189-197.
- 水谷 晃・山本誉士・河野裕美 (2022) GPS ロガーを用いたカンムリワシの生息域および利用環境の解明, *自然保護助成基金助成成果報告書*, 31, p.40-47.
- 長田健二・小林英和 (2019) 西日本における水稻品種「北陸 193 号」飼料米用多収栽培の手引き, *国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構西日本農業研究センター*, p.6.
- Natuhara, Y. (2013) Ecosystem services by paddy fields as substitutes of natural wetlands in Japan, *Ecological Engineering*, 56, p.97-106.
- 新良力也・伊藤豊彰 (2016) 水稻作におけるリン酸減肥基本指針の策定, *日本土壌肥科学雑誌*, 87, p.462-466.
- Okamura, M., J. Hosoi, K. Nagata, K. Koba, D. Sugiura, Y. Arai-Sanoh, N. Kobayashi and M. Kondo (2022) Cross-locational experiments to reveal yield potential and yield-determining factors of the rice cultivar 'Hokuriku 193' and climatic factors to achieve high brown rice yield over 1.2kg m⁻² at Nagano in central inland of Japan, *Plant Production Science*, 25(2), p.131-147.
- 沖縄県農業研究センター石垣支所・沖縄県八重山農林水産振興センター農業改良普及課 (編) (2017) 沖縄県水稻栽培指針 (八重山地域版), 沖縄県米穀種子協会, p.17.
- 沖縄県農林水産部 (2023) 農業関係統計, 沖縄県農林水産部, p.208.
- 沖縄総合事務局 (2019) 内閣府だより 琉球泡盛テロワールプロジェクト～泡盛原料米の県内生産を推進～, 群星, (382), p.19.
- 大江真道 (2008) 作物の形態研究法: マクロからミクロまで 分けつについて, *日本作物学会紀事*, 77, p.229-232.
- R Core Team (2020) R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, <https://www.R-project.org/>.

- Takai, T., P. Lumanglas, E. V. Simon, Y. Arai-Sanoh, H. Asai and N. Kobayashi (2019) Identifying key traits in high-yielding rice cultivars for adaptability to both temperate and tropical environments, *The Crop Journal*, 7, p.685-693.
- 田中明男・若松謙一・田之頭拓 (2019) 西南暖地における移植時期が水稻インド型品種の収量性に及ぼす影響, *日本作物学会紀事*, 88, p.44-45.
- 田中洋貴・伊禮風沙・比屋根真一・宮城敏政 (2021) インド型水稻品種「カーチバイ」におけるトリケトン系除草剤の感受性, 令和 3 年度沖縄県試験研究成果情報 (沖縄県企画部 (編)), p.13-14.
- 田中洋貴・伊禮風沙・宮城敏政 (2022a) 沖縄の二期作におけるインド型水稻品種「カーチバイ」の栽培特性. *熱帯農業研究*, 15 (別 2), p.75-76.
- 田中洋貴・伊禮風沙・宮城敏政 (2022b) 沖縄の二期作におけるインド型水稻品種「北陸 193 号」の多収栽培条件の検討, 第 85 回九州農業研究発表会要旨 (作物部会), p.6.
- Ueta, M. and J. S. Minton (1996) Habitat preference of crested serpent eagles in southern Japan, *Journal of Raptor Research*, 30, p.99-100.
- 吉田正人 (2022) 奄美大島・徳之島・沖縄島北部及び西表島の世界自然遺産登録の経緯とその課題, *ランドスケープ研究*, 86, p.92-95.
- 吉永悟志 (2016) インド型多収品種「北陸 193 号」の超多収達成条件, *中央農研北陸ニュース*, (46), p.2.
- 鷺谷いずみ (2007) 氾濫原湿地の喪失と再生: 水田を湿地として活かす取り組み, *地球環境*, 12, p.3-6.
- Zeileis, A. and T. Hothorn (2002) Diagnostic checking in regression relationships, *R News*, 2(3), p.7-10.

A trial to determine the time of transplanting and the fertilizer rate suitable for cultivating indica-type rice cultivars, “Hokuriku 193” and “Kaachibai”, in the Yaeyama region, southwestern Japan

Suguru OHNO and Eiki KIYUNA

Ishigaki Branch, Okinawa Prefectural Agricultural Research Center

Abstract

As one of the measures for the utilization of idle rice paddies in the second crop of double cropping in the southwestern area of Okinawa (Yaeyama region), cultivation of indica-type rice cultivars as materials for Awamori (Okinawan traditional liquor) has recently been considered. We conducted field experiments on Ishigaki Island to determine the time of transplanting and the fertilizer rate suitable for the cultivation of two indica-type cultivars, “Hokuriku 193” and “Kaachibai”, which have been grown in the northern part of the Okinawa Islands, as the first step to support cultivation in the Yaeyama region. The tested transplanting period was from the first half of July to the second half of August, and the results showed that many of the growth and yield characteristics of both cultivars varied significantly among the times of transplanting. In terms of grain yield, the second half of July and up to the first half of August seemed to be suitable for transplanting “Hokuriku 193” and “Kaachibai”, respectively. The fertilizer used was a one-shot slow-release type (LPBB2133; N:P:K = 21:13:13), and its application rate was varied around the standard fertilizer rate (4.8 Nkg/10a) for the second crop of non-glutinous rice cultivars in the Yaeyama region. In both indica-type cultivars, several growth characteristics varied with the fertilizer rate, whereas the grain yield did not. Therefore, a fertilizer rate of 4.8 Nkg/10a seemed to be adequate for both cultivars, and for “Kaachibai”, it was also suggested that half of the standard (2.4 Nkg/10a) may be sufficient. The present and previous studies showed that the grain yield of the indica-type varieties on Ishigaki Island was at most around 40kg/a, which is considerably lower than that in the northern part of the Okinawa Islands, mainland Japan, and the Philippines, which have achieved more than 50kg/a grain yield. However, the growth data obtained in the present study suggest that the suppression of non-productive tillers and/or improvement of the sink-filling rate lead to an increase in the yield, which should be examined in the future.

Key words: dual cropping, grain-filling rate, multi-functionality of paddy field, Ryukyus, sink capacity