

多収・良食味水稻の移植時期の違いによる収量変動要因の検討

荒井 (三王) 裕見子¹⁾・岡村昌樹²⁾・吉永悟志²⁾・矢部志央理¹⁾・荻原均³⁾・小林伸哉¹⁾

(¹⁾ 農研機構作物研究部門, (²⁾ 農研機構中日本農業研究センター, (³⁾ 農研機構本部)

要旨: 作業競合を回避し作付けの多様化の可能性を探るために, 近年育成された多収・良食味米品種「あきだわら」, 「やまだわら」, 「とよめき」について, 異なる移植時期 (早植栽培, 普通植栽培, 晩植栽培) での収量および収量構成要素と関連形質を3年間評価した. 3品種とも精玄米重は, 移植時期が遅いほど小さかった. また, シンク容量 (m^2 あたり粒数 \times 千粒重) と出穂期から成熟期までの乾物増加量 (出穂後乾物増加量) は, 移植時期が遅いほど小さい傾向があった. そこで移植時期の違いによる精玄米重の変動と気象条件との関係を検討した. 精玄米重 (Y) を出穂前30日から出穂後20日までの積算日射量 (S) で除した値 (Y/S) とこの期間の日平均気温の関係は, 約 $23.4\sim 24.0$ $^{\circ}\text{C}$ で最大値となる二次式に近似でき, この期間の気温と日射量で精玄米重をよく説明できた. しかし晩植栽培で精玄米重が特に小さいことには, 出穂前後の日平均気温ではなく, 日平均日射量が少ないことが影響したと考えられた.

キーワード: 移植時期, 乾物増加量, 収量, シンク容量, 水稻, 日射量.

近年, 食生活の多様化により, 外食や中食向け, 加工米飯や米菓子等の原材料用向けの米需要の高まりに応じて (農林水産省 2021), 良食味と多収性を兼ね備えた業務・加工用米品種が数多く育成されている (農研機構 2020). 一方, 関東地方においては大規模経営体による農地の集約化が進んでいるが, このような経営体では, 移植や収穫等の作業競合がさらなる集約化や経費削減の障壁となっている. そのため, 「コシヒカリ」等の主力品種や麦類等の他作物との作業分散が可能で, 経営体あるいは地域の収益性向上につながる多収・良食味米品種の栽培技術の確立が求められている.

水稻の生産性は, 出穂前後の気温と日射量に大きく影響を受けることが報告されている (村田 1964, Hanyu ら 1966, 内島・羽生 1967, 杉原・羽生 1980). 国内における収量の都道府県間差は, 出穂前10日から出穂後30日までや出穂後40日間の日平均気温と日平均日射量で示される気象生産力指数 (村田 1964) や気候登熟量指数 (Hanyu ら 1966, 内島・羽生 1967), 出穂前40日から出穂前10日までの日平均最低気温と日平均日射量で示される気象生産力指数 (河津ら 2007), 出穂後40日間と出穂前の日平均気温を組み合わせた気候生産力指数 (杉原・羽生 1980), 登熟期間の積算光合成有効放射量 (西山 1985) で説明出来る. また主要な環境要因として気温と日射を考慮し, 水稻の日々の生育量や収量を予測するモデルの開発も取り組まれている (Yoshida and Horie, 2010). 地域間差だけでなく, 同地域で移植時期を移動した場合においても, 出穂期や生育期間の気象条件が変わるため, 気温や日射量が水稻の生育や収量特性 (収量構成要素と関連形質) に影響を及ぼすと考えられる. そのため移植時期の選定は最も重要な栽培技術の1つであり, 栽培地域での品種の出穂特性や登熟期間と併せ

て, 気温や日射量等の気象条件を考慮して決定する必要がある.

これまで, 標肥条件で栽培した「コシヒカリ」等の主食用早生・中生品種において, 慣行移植より遅い時期に移植した水稻は, 収量が低下することが報告されている (青田ら 1964, 伊藤・田中 1978, 丸山・田中 1985, 守田ら 2011, 福罵ら 2018, 佐山ら 2019). しかし, 生育・収量特性が「コシヒカリ」等と異なる多収・良食味米水稻品種で, 多肥条件で移植時期を変えた場合の収量特性および収量特性と気象の関係性を検討した報告はほとんどない. また, これまでの多収・良食味米品種の栽培指針では, その地域で最適な移植時期における収量や収量特性について示されているが (農研機構 2017, 2018a, b), 幅広い移植時期で栽培した場合の収量特性や気象要因については明記されていない.

そこで本報告では, 作業競合を回避し作付けの多様化の可能性を探るため, 農研機構で育成された多収・良食味米品種「あきだわら」, 「やまだわら」, 「とよめき」を用いて, 多肥条件で異なる移植時期での収量および収量特性を評価した. 併せて, 収量および収量特性と気象条件の関係を検討し, 作期分散栽培技術の確立に向けた基礎的知見を得た.

材料と方法

1. 栽培方法

栽培試験は, 2016年から2018年までの3年間, 農研機構谷和原水田圃場 (茨城県つくばみらい市) (埴壤土) に行った. 「あきだわら」, 「やまだわら」, 「とよめき」の3品種を供試した. 関東地方における主要な移植時期である5月移植 (2016年は5月19日, 2017年は5月18日, 2018年は5月18日に移植) を普通植栽培とした. 普通植栽培より早い4月移植 (2016年は4月28日, 2017年は4月27

第1表 異なる移植時期の収量および収量構成要素, 乾物重, 到穂日数.

品種	移植時期	精玄米重	穂数	1穂粒数	総粒数	千粒重	登熟歩合	シンク	乾物重 (g m ⁻²)		出穂後乾物	収穫	到穂
		(g m ⁻²)	(本 m ⁻²)	(粒)	(粒 m ⁻²)	(g)	(%)	容量	出穂期	成熟期	増加量 (g m ⁻²)	指数	日数 (日)
あきだわら	早植	744	412	118	46.9	20.5	77.9	960	1342	2163	820	0.34	98
	普通植	699	399	118	45.7	20.5	74.5	937	1334	2102	768	0.33	85
	晩植	620	350	123	42.4	20.6	71.4	874	1283	1951	668	0.32	77
やまだわら	早植	771	407	126	51.7	21.9	68.3	1134	1335	2185	851	0.35	96
	普通植	716	383	126	48.0	22.5	66.4	1080	1347	2128	782	0.34	83
	晩植	677	369	125	45.9	22.3	66.4	1020	1284	2020	736	0.34	76
とよめき	早植	759	390	117	44.6	22.1	77.2	983	1222	2063	841	0.37	88
	普通植	726	371	122	43.9	22.9	72.4	1007	1192	2007	816	0.36	77
	晩植	647	349	120	41.4	23.3	67.5	962	1185	1919	734	0.34	69
平均	早植	759	403	120	47.7	21.5	74.5	1026	1300	2137	837	0.35	94
	普通植	714	384	122	45.9	22.0	71.1	1008	1291	2079	788	0.34	81
	晩植	648	356	123	43.2	22.0	68.4	952	1251	1963	713	0.33	74
分散分析	移植時期 (P)	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	*	—
	品種 (C)	**	n.s.	n.s.	***	***	**	***	***	***	n.s.	***	—
	P × C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	—

値は3年間の平均値を示す。*, **, *** はそれぞれ5%, 1%, 0.1%水準で有意であることを, n.s. は5%水準で有意でないことを表す。

日, 2018年は4月26日に移植)を早植栽培とした。また, 普通植栽培より遅い6月移植(2016年は6月9日, 2017年は6月8日, 2018年は6月7日に移植)を晩植栽培とした。栽植様式は, 株間15 cm, 条間30 cmの1株3本植とした。肥料は, 緩効性肥料リニア40日型(溶出日数は, 地温25℃で成分の約80%が溶出する日数)と140日型, シグモイド100日型を1:1:1の割合で混合し, 基肥として窒素成分で16 g m⁻²施用した。またP₂O₅とK₂Oをそれぞれの成分で12 g m⁻², 冬期に完熟牛糞堆肥を1 kg m⁻²施用した。N, P₂O₅とK₂Oの基肥は全て移植前全層施肥とした。栽培は, 1区画約20 m²とし, 移植時期を主区, 品種を副区とする3反復の分割区法で行った。

2. 全乾物重, 収量および収量構成要素の測定

出穂期と成熟期の全乾物重の調査では, 各区10株を株元から採取した。サンプルは根を切り落としたあと, 80℃で5日間通風乾燥し, 10株の全重を測定してm²あたりの乾物重に換算した。坪刈り収量と収量構成要素は, 達観調査で黄化率が約90%の時に, 各区1.8 m²(40株)を採取し, 調査した。収量構成要素の測定には, 坪刈りした全ての籾を用いた。粒厚1.8 mm以上の玄米を精玄米とし, 千粒重と精玄米重を求めた。精玄米重と千粒重は水分率15.0%の値とした。登熟歩合は精玄米数を全体の籾数で割って求めた。玄米の含水率は, 米麦水分計(ライスタf, ケット科学研究所製)を用いて測定した。シンク容量は, m²あたり籾数(総粒数)と千粒重の積で求めた(Yoshinagaら2013)。

3. 気象データ

日平均気温および日射量は, 試験地の気象観測データを用いた。また, 参考値として, 2009年から2018年の10年間の同試験地の気象観測データの平均値を用いた。

4. 気象と精玄米重の関係の解析

気象と精玄米重の関係の解析では, 村田(1964)の出穂前10日から出穂後30日までの日平均気温と日平均日射量を用いた温度生産力指数の定義を応用し, 出穂前後の7期間の気象値を用いた。精玄米重(Y)をそれぞれの期間の積算日射量(S)で除した値(Y/S)を以下の二次曲線に回帰した。

$$Y/S = a(T-b)^2 + c, \quad T \text{ は日平均気温, } a, b, c \text{ は係数}$$

5. 統計処理

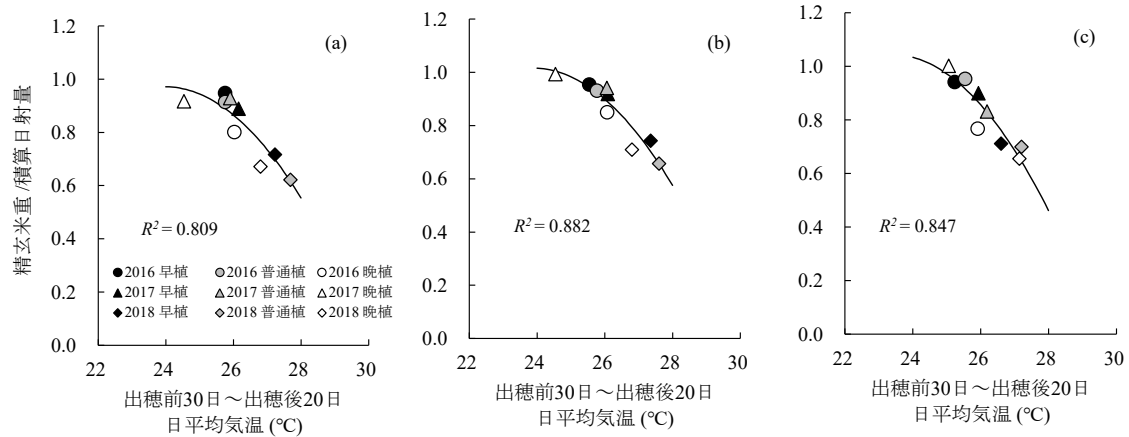
分散分析はR(R Core Team 2017)を用いて行った。収量および収量構成要素, 乾物重について, 年次と移植時期を一次因子, 品種を二次因子として3反復の平均値を用いて解析した。

結 果

早植栽培, 普通植栽培, 晩植栽培において, 2016年から2018年の3年間の出穂日の平均は, 「あきだわら」で8月3日, 8月11日, 8月23日, 「やまだわら」は8月1日, 8月9日, 8月23日, 「とよめき」で7月23日, 8月3日, 8月16日だった。3品種平均の到穂日数(移植から出穂までの日数)は, それぞれ94日, 81日, 74日だった(第1表)。「あきだわら」, 「やまだわら」, 「とよめき」の精玄米重は, 3品種とも移植時期が遅いほど小さく, 平均値は早植栽培

第2表 精玄米重 (Y) を積算日射量 (S) で除した値 (Y/S) を日平均気温に関する二次式に回帰した際の決定係数の期間ごとの比較.

品種	出穂前 10 日 ～出穂後 30 日	出穂 ～出穂後 40 日	出穂 ～出穂後 20 日	出穂前 30 日 ～出穂	出穂前 30 日 ～出穂後 20 日	出穂前 30 日 ～出穂後 30 日	出穂前 30 日 ～出穂後 40 日
あきだわら	0.419	0.348	0.344	0.797	0.809	0.650	0.505
やまだわら	0.411	0.470	0.716	0.787	0.882	0.693	0.549
とよめき	0.572	0.508	0.475	0.671	0.847	0.752	0.634

第1図 出穂前30日から出穂後20日までの積算日射量あたり精玄米重とこの期間の日平均気温の関係。
(a) あきだわら, (b) やまだわら, (c) とよめき.

で 759 g m^{-2} , 普通植栽培で 714 g m^{-2} , 晩植栽培で 648 g m^{-2} となった. 穂数, 総粒数, シンク容量 (総粒数×千粒重), 登熟歩合, 出穂期乾物重は, 移植時期が遅いほど小さい傾向があった. また成熟期乾物重, 出穂期から成熟期までの乾物増加量 (出穂後乾物増加量), 収穫指数は, 移植時期が遅いほど小さかった.

積算日射量と日平均気温について, 出穂前10日から出穂後30日まで (村田 1964), 出穂から出穂後40日まで (長田ら 2016), 登熟前半の出穂から出穂後20日まで, 移植時期でシンク容量に違いがあったことを考慮して出穂前30日から出穂まで, 出穂前後の期間を含めた出穂前30日から出穂後20日まで, 出穂後30日まで, 出穂後40日まで, の7期間において精玄米重との関係を検討した (第2表). 精玄米重 (Y) を出穂前後の積算日射量 (S) で除した値 (Y/S) は, この期間の日平均気温 (T) で二次回帰できると報告されているが, その期間は先行研究により異なる (村田 1964, 長田ら 2016). そこで本研究ではまず, どの期間の日射量と気温が精玄米収量をよく説明できるか検討するため, 第2表に示した7期間において, Y/S を T で二次回帰し, 決定係数を比較した. その結果, 3品種とも出穂前30日から出穂後20日までの期間で最も決定係数が高かった (出穂前30日から出穂後20日までの期間については第1図, その他の期間についての図は省略). この期間では, $23.4 \sim 24.0^{\circ}\text{C}$ で最大値となり, 日平均気温が高いほど精玄米重/積算日射量の値は低下した.

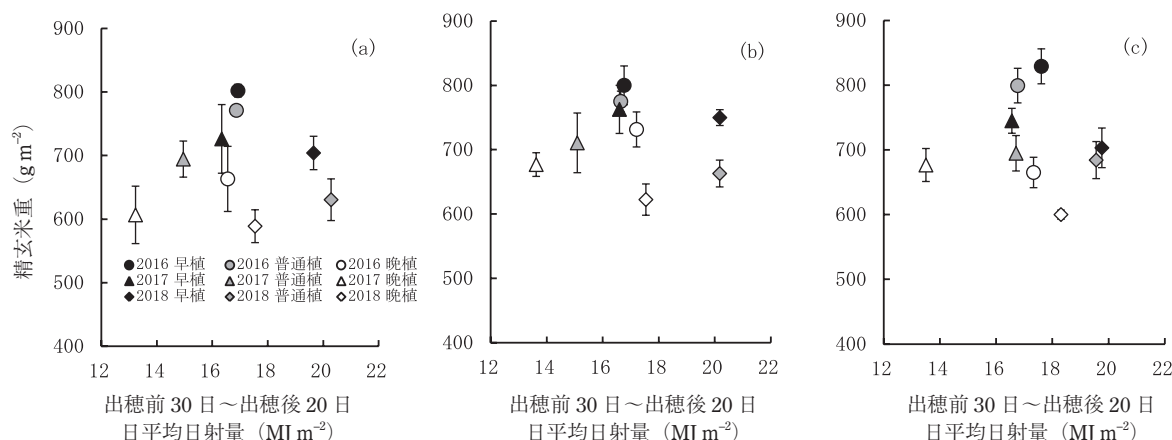
2017年の「あきだわら」と「やまだわら」では移植時

期が遅いほど, また2018年の「とよめき」の晩植栽培では, 早植栽培と普通植栽培に比較して, 出穂前30日から出穂後20日までの日平均日射量が少なく, 精玄米重が小さくなる傾向があった (第2図). しかし, それ以外の年次・品種では, その傾向は明確ではなかった.

出穂前30日から出穂までの日平均日射量とシンク容量, および出穂から出穂後20日までの日平均日射量と出穂後乾物増加量の関係について, 精玄米重が大きかった早植栽培に対する, 精玄米重が小さかった晩植栽培の比率 (晩植栽培/早植栽培) を検討した (第3表). 2016年の「あきだわら」と「とよめき」は出穂後20日間の日射量が少なく乾物増加量が小さくなり, 2017年の「あきだわら」と「やまだわら」は出穂前30日間の日射量が少なくシンク容量が小さくなり, 2018年の3品種は出穂後20日間の日射量が少なく乾物増加量が小さくなった.

考 察

多収・良食味米水稻の異なる移植時期での収量および収量特性を多肥条件で評価した. その結果, 「あきだわら」, 「やまだわら」, 「とよめき」は, 移植時期が遅いほど, 精玄米重が小さかった (第1表). 標肥条件で栽培した「コシヒカリ」等の主食用早生・中生品種では, 晩植栽培で精玄米重が低下することが報告されており (青田ら 1964, 伊藤・田中 1978, 丸山・田中 1985, 守田ら 2011, 福瀧ら 2018, 佐山ら 2019), 多肥条件で栽培した多収・良食味米品種でも同様の傾向があった.



第2図 精玄米重と出穂前30日から出穂後20日までの日平均日射量の関係。

(a) あきだわら, (b) やまだわら, (c) とよめき. 図中のプロットは平均値 ($n=3$) を示し, 縦棒は標準偏差を表す。

第3表 出穂前30日間の日平均日射量とシンク容量および出穂後20日間の日平均日射量と出穂後乾物増加量の早植栽培に対する晩植栽培の比率 (晩植栽培/早植栽培)。

品種		2016	2017	2018
あきだわら	出穂前日射量	1.03	0.69	0.93
	シンク容量	1.01	0.80	0.93
	出穂後日射量	0.89	1.08	0.83
	乾物増加量	0.86	0.77	0.81
やまだわら	出穂前日射量	1.11	0.68	0.91
	シンク容量	0.95	0.84	0.91
	出穂後日射量	0.91	1.15	0.80
	乾物増加量	0.93	0.82	0.84
とよめき	出穂前日射量	1.13	0.72	0.99
	シンク容量	0.99	0.99	0.95
	出穂後日射量	0.81	1.01	0.84
	乾物増加量	0.82	0.96	0.85

値は早植栽培の値に対する晩植栽培の値の比率 (晩植栽培/早植栽培) を示す。出穂前日射量は出穂30日前から出穂までの日平均日射量, 出穂後日射量は出穂から出穂20日後までの日平均日射量を表す。

そこで, 晩植栽培で精玄米重が特に小さくなる要因を明らかにするために, 精玄米重と併せて, 出穂前はシンク容量を, 出穂後はシンク容量の影響を受けない出穂後乾物増加量を収量特性の指標とし, 到穂日数, 日平均気温や日平均日射量との関係を検討した。晩植栽培は出穂が遅くなるだけでなく, 到穂日数が短縮すること (青田ら 1964, 丸山・田中 1985, 守田ら 2011, 福寫ら 2018), これに伴って穂数が減少すること (福寫ら 2018), また総粒数が減少すること (伊藤・田中 1977, 丸山・田中 1985, 守田ら 2011, 福寫ら 2018), 登熟歩合低下すること (伊藤・田中 1977, 福寫ら 2018), 一方で千粒重はやや増加すること (丸山・田中 1985) が報告されている。本報告においても「あきだわら」, 「やまだわら」, 「とよめき」では, 到穂日数は, 移植時期が遅いほど短くなり, 早植栽培と比較して, 晩植栽培

は平均で20日短縮していた (第1表)。また早植栽培や普通植栽培に比較して, 晩植栽培は, 穂数, 総粒数, シンク容量, 登熟歩合が小さく, 千粒重が大きい傾向があり, これまでの報告と同様の傾向があった。そこで, シンク容量と到穂日数の関係を検討したところ, 関係のある年次や品種があったものの, 到穂日数のみでシンク容量を説明することは出来なかった (データ省略)。

先行研究における収量の決定に重要な期間としては, 早いもので出穂前40日から出穂前10日まで (河津ら 2007), 遅いものでは出穂前後から登熟まで (村田 1964, Hanyu ら 1966, 内島・羽生 1967, Lee 1971, 杉原・羽生 1980) とされている。本報告では, 精玄米重/積算日射量の値と日平均気温の関係について, 第2表に示す期間で検討した。シンクが形成される幼穂形成期と乾物増加量の多い登熟前半を含んだ出穂前30日から出穂後20日までの期間で3品種とも最も決定係数が高く, この期間の日射量と気温で精玄米重が説明できることが分かった。このことは, 主に出穂前に決定するシンク容量と出穂後に決定する出穂後乾物増加量の両方が収量に影響する可能性があることを示している。そこで, 出穂前30日から出穂後20日までの期間における精玄米重/積算日射量の値と日平均気温の関係を第1図に示した。日平均気温の精玄米重への影響を検討したところ, 3品種とも $23.4 \sim 24.0^{\circ}\text{C}$ で最大値となる二次式に近似した。これまでの移植時期の異なる報告では, 出穂前15日から出穂後35日までの日平均日射量あたりの収量 (丸山・田中 1985), 出穂前10日から出穂後30日までの日平均日射量あたりの収量 (Lee 1971), 登熟期間の日平均日射量あたりの収量 (上田ら 1998) とこの時期の日平均気温の間には, それぞれ 23.2°C , 24.6°C , 22.9°C で最大値をとる二次式に近似する関係があり, これよりも日平均気温が高いと収量が低下しており, 本報告と同様の結果だった。また, 本試験期間と2009年から2018年までの10年間の出穂前30日から出穂後20日までの日平均気温の平均値は, 早植栽培と普通植栽培に比較して, 晩植栽培は同

等かわずかに低く、Y/Sが最大となる気温に近かった（第4表、第1図）。そのため、早植栽培や普通植栽培に比較して、晩植栽培で精玄米重が特に小さいことは、この期間の日平均気温では説明できなかった。一方、日平均日射量は、早植栽培や普通植栽培に比較して、晩植栽培で少ない傾向があり、2009年から2018年までの10年間と同様だった（第5表）。以上から、晩植栽培で精玄米重が特に小さいことは、出穂前30日から出穂後20日までの日射量が少ないことが主たる要因であることが示唆された。

しかし、精玄米重とこの期間の日平均日射量の関係は、明確ではない年次や品種があった（第2図）。これは同一年次、品種であっても移植時期の違いにより日平均気温が異なることが原因の一つと考えられる。第1図の回帰曲線

第4表 2016年から2018年までと10年間の出穂前30日から出穂後20日までの日平均気温。

品種	移植時期	2016年から2018年までの 日平均気温（℃）	10年間の 日平均気温*（℃）
あきだわら	早植	26.4	26.3
	普通植	26.4	26.4
	晩植	25.8	25.9
やまだわら	早植	26.3	26.2
	普通植	26.5	26.4
	晩植	25.8	25.9
とよめき	早植	25.9	25.7
	普通植	26.3	26.3
	晩植	26.0	26.2
平均	早植	26.2	26.1
	普通植	26.4	26.4
	晩植	25.9	26.0

* 2009年から2018年までの日平均気温の平均値。

からの乖離の大きいプロットについては、この期間の日射量や気温以外の要因を考慮する必要があることを示唆している。そこで、出穂前30日から出穂までの期間の日平均日射量とシンク容量、および出穂から出穂後20日までの期間の日平均日射量と出穂後乾物増加量に分けて気象条件との関係を検討したところ、出穂前30日間の日射量が少なくシンク容量が小さくなる場合、出穂後20日間の日射量が少なく出穂後乾物増加量が小さくなる場合があった（第3表）。総粒数は、幼穂形成期や出穂期の地上部窒素含量や濃度（Wadaら1986, 小林・堀江1994, 王ら1997, Yoshidaら2006, 小林ら2014）、同化産物供給量（松島1957, 和田1969）に影響を受ける。そのため、出穂前の低日射によって同化産物生産量が少なくなり、シンク容量が減少した可能性が考えられる。またシンク容量が小さい場合では、出穂後の日射量が低下しない場合でも出穂後乾物増加量は小さかったため（第3表）、シンク容量が制限されることによって、精玄米重が小さくなったと考えられた。シンク容量が同じ場合では、移植時期が遅いほど、登熟歩合が低下する傾向があった（データ省略）。これまでも、総粒数が同じ場合において、日平均日射量が低下する晩植栽培では、登熟歩合が低下することが報告されており（伊藤・田中1977, 丸山・田中1985）、本報告でも同様の結果だった。また本試験期間の出穂後20日間の日平均日射量は、早植栽培や普通植栽培に比較して、晩植栽培で少ない傾向があり、2009年から2018年の10年間と同様だった（第5表）。そのため、シンク容量が確保された場合では、出穂後20日間の日射量が少ないことによって、出穂後乾物増加量が小さくなり（第3表）、精玄米重が小さくなったと推察された。以上のことから、晩植栽培で精玄米重が小さくなる要因は、出穂前30日間の日平均日射量が少ないためにシンク容量が減少する場合、または出穂から出穂後20日間の日平均

第5表 2016年から2018年までと10年間の出穂前30日から出穂後20日までの日平均日射量。

品種	移植時期	2016年から2018年までの日平均日射量（MJ m ⁻² ）			10年間の日平均日射量*（MJ m ⁻² ）		
		出穂前30日 ～出穂後20日	出穂前30日 ～出穂	出穂 ～出穂後20日	出穂前30日 ～出穂後20日	出穂前30日 ～出穂	出穂 ～出穂後20日
あきだわら	早植	17.6	18.8	15.9	18.1	18.4	17.7
	普通植	17.4	18.3	15.9	17.9	18.8	16.7
	晩植	15.8	16.5	14.6	16.9	18.1	15.2
やまだわら	早植	17.8	18.8	16.4	18.2	18.3	18.0
	普通植	17.3	18.7	15.2	18.3	19.2	16.9
	晩植	16.1	16.7	15.2	16.9	18.1	15.2
とよめき	早植	18.0	18.1	17.8	18.0	17.7	18.5
	普通植	17.7	18.6	16.3	18.1	18.4	17.7
	晩植	16.4	17.0	15.4	17.5	18.4	16.2
平均	早植	17.8	18.6	16.7	18.1	18.0	18.4
	普通植	17.5	18.5	15.8	18.3	19.1	17.1
	晩植	16.1	16.8	15.1	17.0	18.2	15.4

* 2009年から2018年までの日平均日射量の平均値。

日射量が少ないために出穂後乾物増加量が減少する場合があると推察された。

本研究によって、多収・良食味水稻の移植時期の違いによる収量および収量特性や気象条件との関係が明らかになった。特に地域標準の移植時期より遅く移植する晩植栽培では、出穂前後の日射量不足によってシンク容量や登熟期乾物増加量が低下し、収量が低下する可能性があることが明らかとなり、多収品種の移植晩限の判断や作期分散栽培技術の確立に向けた基礎的知見を得ることができた。各地域の生産現場においては、収量低下を少なくするための最適作期の検討が必要である。大規模農家の増加に伴う作期の拡大が予想され、水稻品種の収量や収量特性に及ぼす気象条件の影響に関する情報はますます重要となる。本報告の知見を基に、供試した品種の栽培指針改良や他品種への応用が期待される。

謝辞：農研機構中日本農業研究センターの吉田ひろえ氏には、貴重なご助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 青田精一・木根渕旨光・橋本勉・水野進 1964. 北陸地域における水稻晩植栽培の減収要因とその収量性. 北陸農試報 7: 29-60.
- 福嶋陽・太田久稔・横上晴郁・津田直人 2018. 東北地域における水稻品種の晩植適性. 日作紀 87: 37-42.
- Hanyu, J., Uchijima, T. and Sugawara, S. 1966. Studies on the agro-climatological method for expressing the paddy rice products. Part 1. Bull. Tohoku Agr. Exp. Sta. 34: 27-36.
- 伊藤十四英・田中孝幸 1977. 水稻の稚苗および成苗における作期の移動が収量生産過程に及ぼす影響. 北陸作報 12: 14-17.
- 河津俊作・本間香貴・堀江武・白岩立彦 2007. 近年の日本における稲作気象の変化とその水稻収量・外観品質への影響. 日作紀 76: 423-432.
- 小林英和・千葉雅大・長田健二 2014. 地上部窒素吸収量の増大による水稻多収品種の粗数増加とその限界. 日作紀 83: 374-279.
- 小林和広・堀江武 1994. 水稻の穎花ならびに枝梗分化に及ぼす生殖生長期の体内窒素の影響. 日作紀 63: 193-199.
- Lee, J.H. 1971. The role of root system of rice plant in relation to the physiological and morphological characteristics of aerial parts: VI. Characteristics of aerial parts and root under different seasonal cultivations. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 41: 1-13.
- 丸山幸夫・田中孝幸 1985. 水稻の作期が生育収量に及ぼす影響. 日作紀 27: 80-99.
- 守田和弘・高橋渉・杉森史郎・古畑昌巳. 2011. 富山県における水稻品種「コシヒカリ」の高温登熟回避を目的とした晩植栽培に適した栽植密度. 日作紀 80: 220-228.
- 村田吉男 1964. わが国の水稻収量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について. 日作紀 33: 59-63.
- 松島省三 1957. 水稻収量の成立と予察に関する作物学的研究. 農技研報 A5: 1-271.
- 長田健二・大角壮弘・吉永悟志・中野洋 2016. 水稻多収品種における登熟期気象条件と収量との関係の品種間差. 日作紀 85: 367-372.
- 西山岩男 1985. イネの収量と登熟期の光合成有効放射量との比例関係について. 日作紀 54: 8-14.
- 農研機構 2017. 「あきだわら」多収・良食味水稻栽培マニュアル. https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/nics_akidawara_manual201707.pdf (2021 年 5 月 5 日閲覧).
- 農研機構 2018a. 業務・加工利用向け水稻品種「やまだわら」多収栽培マニュアル. https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/2f1f790e725d7419ed8770cfd6446419.pdf (2021 年 5 月 5 日閲覧).
- 農研機構 2018b. 「とよめき」多収・業務加工用水稻栽培マニュアル. https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/nics_toyomeki_manual201901.pdf (2021 年 5 月 5 日閲覧).
- 農研機構 2020. 様々な用途に向くお米の品種シリーズ. https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/nicsrice-tec2020.pdf (2021 年 5 月 5 日閲覧).
- 農林水産省 2021. 令和 2 年度 食料・農業白書 (令和 3 年 5 月 25 日公表) https://www.maff.go.jp/j/wpaper/w_maff/r2/pdf/zentaiban.pdf (2021 年 5 月 26 日閲覧).
- R Core Team 2017. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>. (2021 年 1 月 31 日閲覧).
- 佐山玲・伊藤征樹・柴田智 2019. 水稻良食味品種の移植時期の移動による作期の拡大. 秋田農試研報 57: 79-92.
- 杉原保幸・羽生寿郎 1980. 水稻の気候生産力の評価に関する研究. I. 水稻の気候生産力評価の試み. 農業気象 36: 71-79.
- 内島立郎・羽生寿郎 1967. 本邦における水稻の気候登熟量示数の地域性について. 農業気象 22: 137-142.
- 上田一好・楠谷彰人・浅沼興一郎・一井眞比古 1998. 香川県における水稻品種キヌヒカリの移植時期に関する研究: 収量および食味と気象要因との関係. 日作紀 67: 289-296.
- 和田源七 1969. 水稻収量成立におよぼす窒素栄養の影響. 農技研報 A16: 27-167.
- Wada, G., Shoji, S. and Mae, T. 1986. Relationship between nitrogen absorption and growth and yield of rice plants. JARQ 20: 135-145.
- 王余龍・山本由徳・蔣軍民・挑友礼・蔡建中・新田洋司 1997. 中国産日本型水稻 9004 系統の多収要因の解析. 第 3 報 窒素施用時期並びに施用量が収量成立に及ぼす影響. 日作紀 66: 1-10.
- Yoshida, H., Horie, T. and Shiraiwa T. 2006. A model explaining genotypic and environmental variation of rice spikelet number per unit area measured by cross-locational experiments in Asia. Field Crops Res. 97: 337-343.
- Yoshida, H. and Horie, T. 2010. A model for simulating plant N accumulation, growth and yield of diverse rice genotypes grown under different soil and climatic conditions. Field Crop Res. 117: 122-130.
- Yoshinaga, S., Takai, T., Arai-Sanoh, Y., Ishimaru, T. and Kondo, M. 2013. Varietal differences in sink production and grain-filling ability in recently developed high-yielding rice (*Oryza sativa* L.) varieties in Japan. Field Crops Res. 150: 74-82.

Factors Affecting Variance in Yield Caused by Different Transplanting Times in High-Yield and Good-Eating-Quality Rice : Yumiko ARAI-SANO¹⁾, Masaki OKAMURA²⁾, Satoshi YOSHINAGA²⁾, Shiori YABE¹⁾, Hitoshi OGIWARA³⁾ and Nobuya KOBAYASHI¹⁾ (¹⁾*Institute of Crop Science, NARO, Tsukuba, 305-8518, Japan;* ²⁾*Central Region Agricultural Research Center, NARO;* ³⁾*Headquarters, NARO*)

Abstract : To avoid farm work competition and explore the possibility of diversification of cropping, we evaluated the yield and yield characteristics of the transplanting times (early, middle and late) in rice (*Oryza sativa* L.) for three years using three high-yielding cultivars, “Akidawara”, “Yamadawara” and “Toyomeki”, which have high eating quality. The later the transplanting time, the lower the filled brown rice yield. Sink capacity and the increase in shoot dry weight during grain filling tended to be smaller the later the transplanting time. To reveal the factors lowering the yield in late transplanting, we carried out several analyses under various climate conditions. The relationship between Y/S value, obtained from dividing yield (Y, g m⁻²) by cumulative solar radiation (S, MJ m⁻²) from 30 days before heading to 20 days after heading, and the average daily temperature in the same periods were approximated by a quadratic equation, meaning yield could be explained well by temperature and solar radiation. The maximum value in Y/S was found at around 23.4 to 24.0 °C. On the other hand, it was inferred that the lower yield in late transplanting was affected not by the average daily temperature before and after heading but by the lower average daily solar radiation.

Key words : Rice, Shoot dry weight, Sink capacity, Solar radiation, Transplanting time, Yield.
