

極短穂性を示すイネ品種系統の一穂粒乾物重に与える到穂日数の影響

中込弘二¹⁾・藤本寛¹⁾・松下景²⁾・笹原英樹¹⁾・重宗明子¹⁾・出田収³⁾

(¹⁾ 農研機構西日本農業研究センター, ²⁾ 農研機構次世代作物開発研究センター, ³⁾ 農研機構管理本部)

要旨：遺伝子の変異により極短穂性を示す品種系統の効率的な種子生産方法の確立のため、一穂粒乾物重に影響を及ぼす極短穂品種系統に共通した要因を明らかにすることを目的とした。早晩性が異なり極短穂性を示す 64 品種系統を用いた延べ 125 試験区の栽培を 2015–2018 年に西日本農業研究センター内の圃場において 6 月上旬移植、栽植密度 18.5 株 m⁻²、窒素施用量 15 g m⁻² の条件で行った。また、極短穂性を示し早晩性が異なる「中国飼 224 号」、「中国飼 225 号」、「つきすずか」および「つきことか」の 4 品種系統を 2018 年 5 月 20 日、6 月 25 日、7 月 20 日移植の 3 作期を設け、栽植密度 18.5 株 m⁻²、窒素施用量 12 g m⁻² の条件で栽培した。出穂期、到穂日数、粒乾物重、穂数および一穂粒乾物重を調査した。その結果、極短穂性品種系統の粒乾物重には、穂数よりも一穂粒乾物重が大きく寄与することが確認された。また、いずれの試験においても到穂日数が 80 日以下となる品種系統や移植時期では、到穂日数と一穂粒乾物重との間に高い負の相関がみられ、到穂日数が短くなるに従い一穂粒乾物重は増加した。

キーワード：稲発酵粗飼料、種子生産、水稻、短穂、短穂遺伝子 *SP1*、到穂日数。

緒 言

稲発酵粗飼料は、イネの地上部全体が専用の飼料収穫機で収穫され、サイレージに調製されたものである。我が国では飼料自給率の向上ならびに水田の有効利用の観点から、稲発酵粗飼料の生産や利用が進められ、2018 年度には 42545 ha で発酵粗飼料用イネの作付けが行われた（農林水産省 2019）。発酵粗飼料用イネには低コスト栽培のため地上部が多収であることや高い耐倒伏性が求められ、また、サイレージに調製された際には良好な品質も求められる。特にイネの籾は牛体内での消化性が劣るため（新出 2010）、籾が少なく、消化性が優れる茎葉が多収であることが求められる。このような観点から、農研機構ではこれまでに短穂遺伝子 *SP1*（Li ら 2009）に変異を持つ中生の「たちあやか」（2012 年品種登録出願, Matsushita ら 2014）、晩生の「たちすずか」（2010 年品種登録出願, 松下ら 2012）および「つきすずか」（2016 年品種登録出願, 中込ら 2018）、極晩性の「つきことか」（2018 年品種登録出願, 中込ら 2019）を育成した。Li ら（2009）は *SP1* の機能が失われた品種では、枝梗や穎花の分化は野生型と変わらないものの、その後の枝梗の伸長が特に穂首に近い部分で著しく劣り、穂が短く着粒数が少なくなることを報告している。そのため、これらの品種は、いずれも一般的な品種と比較し、穂が短く着粒数が少ない極短穂性の形態を示し、茎葉多収であることから発酵粗飼料用イネとして需要が高いものの、種子生産効率が低いといめ効率的な種子生産方法の開発が課題となる。これまでに、「たちすずか」や「たちあやか」は一般的な品種と異なり、地上部乾物重を増やすことにより種子収量を増やすことはできないことが報告されている（藤本ら 2016）。先行して育成された「たちすずか」では、生殖成長期間を中心とした

施肥体系、つまり基肥少肥や幼穂分化期以降の穂肥の施用や晩植、疎植栽培による一穂粒数や種子収量の増加効果（保科・上藤 2011, Matsushita ら 2013, 保科 2014, 保科・高桑 2014, 藤本ら 2016）が報告されており、種子生産用の栽培マニュアル（勝場・藤本 2013）が作成されている。「たちすずか」はこれらを組合せた栽培方法で、300–450 g m⁻² 程度の十分な種子収量が得られており、円滑な普及に結びついている。また、「たちすずか」と生育特性に近い「つきすずか」についても、「たちすずか」と同様の施肥体系や晩植、疎植を組み合わせた栽培方法が種子生産に有効であることが報告されている（中込ら 2018）。「たちあやか」についても「たちすずか」で効果があった施肥体系や移植時期、栽植密度の効果について検討がなされ、「たちすずか」と同様に生殖成長期を中心とした施肥体系で種子収量の増収効果があること（藤本ら 2016, 保科 2016, 保科 2017, 松下ら 2017）が報告されている。しかし、「たちあやか」では移植時期の効果は報告により異なり（藤本ら 2016, 保科 2016, 中込ら 2016）、「たちすずか」と同様の種子生産方法で十分な種子収量が得られていない。また、「たちあやか」では出穂期前の気温の影響について検討がなされ、出穂期前 30–10 日の平均日最低気温が低いほど「たちあやか」の穂長が長くなることが報告されている（中込ら 2015, 中込ら 2016）。

極短穂性を利用した品種育成は、発酵粗飼料用イネとして優れた特性を付与することが可能であるため、耐病性の付与や幅広い早晩性等を考慮して今後も行われる。しかし、新しく品種が育成される度に、既存品種で有効であった方法の適用の可否や新たな種子生産方法を検討することは効率が悪く、*SP1* の変異に起因した極短穂性を示す品種系統に共通した統一的な種子収量変動の機作の解明が望まれる。前述の通り *SP1* に変異を持つ品種系統は、穂首節に近い部分の

第1表 極短穂性を示す64品種系統の交配組合せ別による一穂粒乾物重と到穂日数との関係.

交配組合せ	点数	到穂日数		一穂粒乾物重		
		平均 (日)	標準偏差 (日)	平均 (g)	標準偏差 (g)	相関 係数
到穂日数 80 日以下						
A 中国飼 198 号 / 収飼 8057	6	61.3	9.2	0.96	0.44	-0.811 n.s.
B (ホシアオバ / 関東 PL13) // (F ₄ (05 多予 2-15/ 中国飼 189 号) / 03 多系選 96)	8	64.3	4.6	0.90	0.54	-0.784 *
C F ₄ (05 多予 2-15/ 中国飼 189 号) / タチアオバ	5	67.3	2.6	0.66	0.38	-0.894 *
D (F ₄ (05 多予 2-15/ 中国飼 189 号) / タチアオバ) / 多収系 1103	5	68.2	1.7	0.91	0.26	-0.695 n.s.
E F ₄ (05 多予 2-15/ 中国飼 189 号) / 03 多系選 96	14	68.8	3.5	0.25	0.18	-0.536 *
F F ₄ (05 多予 2-15/ 中国飼 189 号) / 03 多系選 96) / タチアオバ	7	68.9	2.0	0.46	0.12	-0.659 n.s.
G 多収系 1079 / 中国 201 号 // 多収系 1079	9	69.2	4.8	0.29	0.13	-0.658 n.s.
H 05 多予 II -15 / 中国 189 号	1	73.0	-	0.26	-	-
I たちあやか:ホシアオバ /// ホシアオバ / 極短穂 (00 個選 11) // ホシアオバ	6	72.3	2.0	0.19	0.17	0.747 n.s.
到穂日数 81 日以上						
G 多収系 1079 / 中国 201 号 // 多収系 1079	13	87.3	4.7	0.40	0.08	0.385 n.s.
J たちすずか:中国 147 号 / 極短穂 (00 個選 11)	12	90.5	2.8	0.56	0.21	-0.330 n.s.
K 中部 125 号 / ホシアオバ // 中国飼 198 号	3	91.3	0.5	0.34	0.07	0.945 n.s.
L 中国飼 198 号 / 多収系 1066	7	91.6	3.7	0.25	0.21	-0.455 n.s.
E F ₄ (05 多予 2-15/ 中国飼 189 号) / 03 多系選 96	5	94.2	5.3	0.46	0.28	-0.786 n.s.
C F ₄ (05 多予 2-15/ 中国飼 189 号) / タチアオバ	6	100.8	4.2	0.73	0.27	-0.412 n.s.
M 中国飼 198 号 / 08 多系選 624	1	106.0	-	0.35	-	-
F F ₄ (05 多予 2-15/ 中国飼 189 号) / 03 多系選 96) / タチアオバ	9	106.4	4.1	0.34	0.26	-0.626 n.s.
H 05 多予 2-15 / 中国飼 189 号	8	108.8	2.3	0.26	0.15	-0.566 n.s.

注) 相関係数における * および n.s. はそれぞれ 5% 水準で有意であることおよび 5% 水準で有意でないことを示す. 太字は極短穂性品種系統を示す.

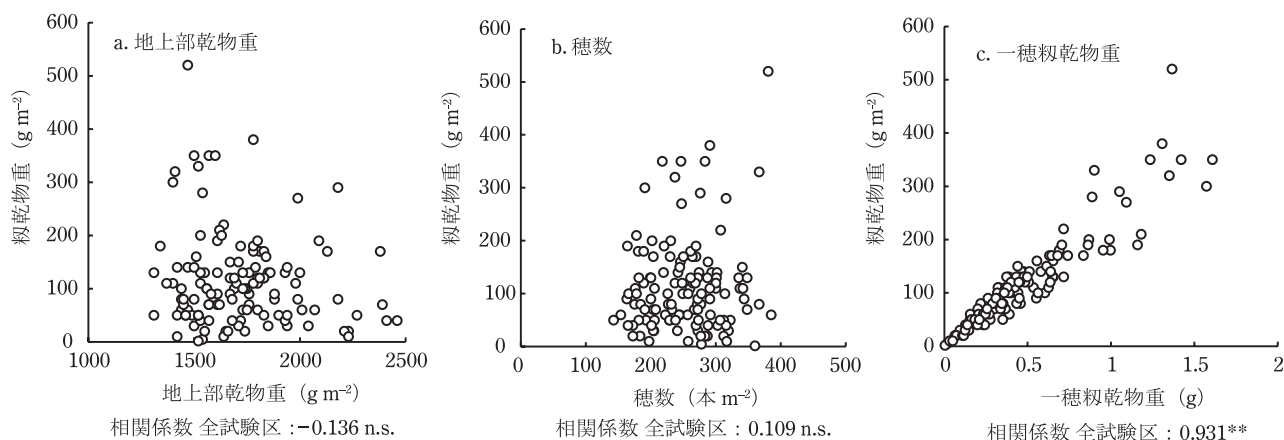
枝梗の伸長が抑制されることで着粒数が少なくなるが, 栽培方法によって抑制の程度は大きく異なり, 一穂粒数は大きく変動する (藤本ら 2016). 「たちすずか」や「たちあやか」では収量構成要素のうち一穂粒数が最も種子収量に寄与することが報告されており (保科・上藤 2011, 保科 2014, 松下ら 2014, 藤本ら 2016), このことから藤本ら (2016) の指摘の通り, 極短穂性品種において種子収量を改善するには, *SP1* の変異による枝梗の伸長抑制を軽減し, 一穂粒数を多くすることが最も効率的であると考えられる. そこで, 本研究では極短穂性品種系統について, 一穂粒数と関連が高い一穂粒乾物重に影響を与える共通した要因について明らかにするため, 極短穂性を示す多数の品種系統を用いて, 出穂期や到穂日数の一穂粒乾物重との関連を検討した. また, 「たちすずか」では移植時期の効果が大きいこと (藤本ら 2016) が報告されていることから, 早晩性や感光性程度が異なる極短穂性品種系統「中国飼 224 号」, 「中国飼 225 号」, 「つきすずか」および「つきことか」の 4 品種系統を用いて約 1 ヶ月間隔で 3 作期の移植時期を設けた作期試験を行い, 出穂期や到穂日数の一穂粒乾物重との関連について合わせて検討した.

材料および方法

1. 多様な極短穂性品種系統を用いた検討 (試験 1)

2015 年から 2018 年に西日本農業研究センター (広島県福山市: 北緯 34.5 度, 東経 133.4 度, 標高約 1 m) 内の圃場に,

早晩性の異なる品種系統を, 栽植密度 18.5 株 m^{-2} (条間 30 cm, 株間 18 cm), 植付本数 2~3 本で手植えした. 試験には極短穂性を示し, 第 1 表に示す 13 通りの交配組合せからなる合計 64 品種系統, 4 年間で延べ 125 試験区を用いて検討を行った. また, 通常の穂の形態を示し, 64 通りの交配組合せからなる 183 品種系統, 4 年間で延べ 215 試験区についても検討を行った. 平均の移植日は, 2015 年は 6 月 4 日, 2016 年は 6 月 2 日, 2017 年は 6 月 7 日, 2018 年は 6 月 5 日であり, 各年平均移植日の前後 1 日以内に移植した. 平均の窒素施用量は基肥 5.8 g m^{-2} , 追肥は 3 回に分けて行い, 1 回目は 3.1 g m^{-2} , 2 回目は 3.1 g m^{-2} , 3 回目は 3.0 g m^{-2} で合計 15 g m^{-2} を施用した. 粒乾物重への影響が大きいと想定される追肥時期については, 早生施肥群, 中生施肥群, 晩生施肥群と施用時期が異なる 3 施肥群を設け, 早生施肥群では早生~中生品種系統を, 中生施肥群では主に中生~晩生品種系統を, 晩生施肥群では晩生品種系統を中心とした中生~極晩性系統を供試した. また, 追肥は早生施肥群では移植後 14~29 日, 27~37 日, 39~44 日頃に, 中生施肥群では移植後 15~28 日, 35~43 日, 46~52 日頃に, 晩生施肥群では移植後 16~29 日, 47~51 日, 56~58 日頃に施用した. 試験は, 1 区面積は約 6 m^2 とし, 反復なしあるいは 2 反復で行った. 出穂期, 穂数を調査するとともに, 極短穂性を示す品種系統の試験区については出穂期後 40~50 日に 36 株 (刈り取り面積 1.94 m^2) を地際部より収穫し,



第1図 極短穂性を示す64品種系統125試験区における地上部乾物重、穂数および一穂籾乾物重と籾乾物重との関係。

注) ** および n.s. はそれぞれ1%水準で有意であることおよび5%水準で有意でないことを示す。

風乾後に70℃で3日以上乾燥し、地上部乾物重、籾乾物重を測定した。穂数には、幼穂の生育が停止し出すくみ状態となった茎も穂として計数した。通常の穂の形態を示す品種系統の試験区については、成熟期に36株を収穫し粗玄米重を測定した。また、センター内の気象観測装置の値を用い出穂期前30~10日の平均日最低気温を算出した。

2. 極短穂性を示し早晩性の異なる4品種系統を用いた作期試験での検討(試験2)

極短穂性を示し、感光性が弱く出穂期が瀬戸内沿岸地域において早生の「中国飼224号」および中生の「中国飼225号」、感光性が強く晩生の「つきすずか」および極晩生の「つきことか」の4品種系統を用いた。2018年に西日本農業研究センター内の圃場に、栽植密度 18.5 株 m^{-2} (条間30 cm, 株間18 cm)、植付本数2~3本で手植えた。移植日は5月20日、6月25日、7月20日の3作期を設け、窒素施肥として基肥を 6 g m^{-2} 、出穂期前51~34日に追肥 6 g m^{-2} を施用した。1区面積は 3.24 m^2 で3反復を設けた。出穂期、穂数を調査するとともに出穂期後39~47日に20株(刈り取り面積 1.08 m^2)を地際部より収穫し、風乾後に70℃で3日以上乾燥し、地上部乾物重、籾乾物重を測定した。穂数は試験1と同様に算出し、出穂期前の平均日最低気温についても試験1と同様に算出した。なお、「つきすずか」および「つきことか」の出穂期、地上部乾物重および籾乾物重の値は中込ら(2019)の値を引用した。

結 果

1. 多様な品種系統を用いた検討(試験1)

極短穂性を示す品種系統の籾乾物重の最小値は 1.52 g m^{-2} 、最大値は 520 g m^{-2} であった(第1図)。地上部乾物重と籾乾物重との間に相関は認められなかった(第1図a)。穂数と籾乾物重との間には相関は認められず(第1図b)、一穂籾乾物重と籾乾物重との間には、相関係数 0.931 と高い相関が認められた(第1図c)。

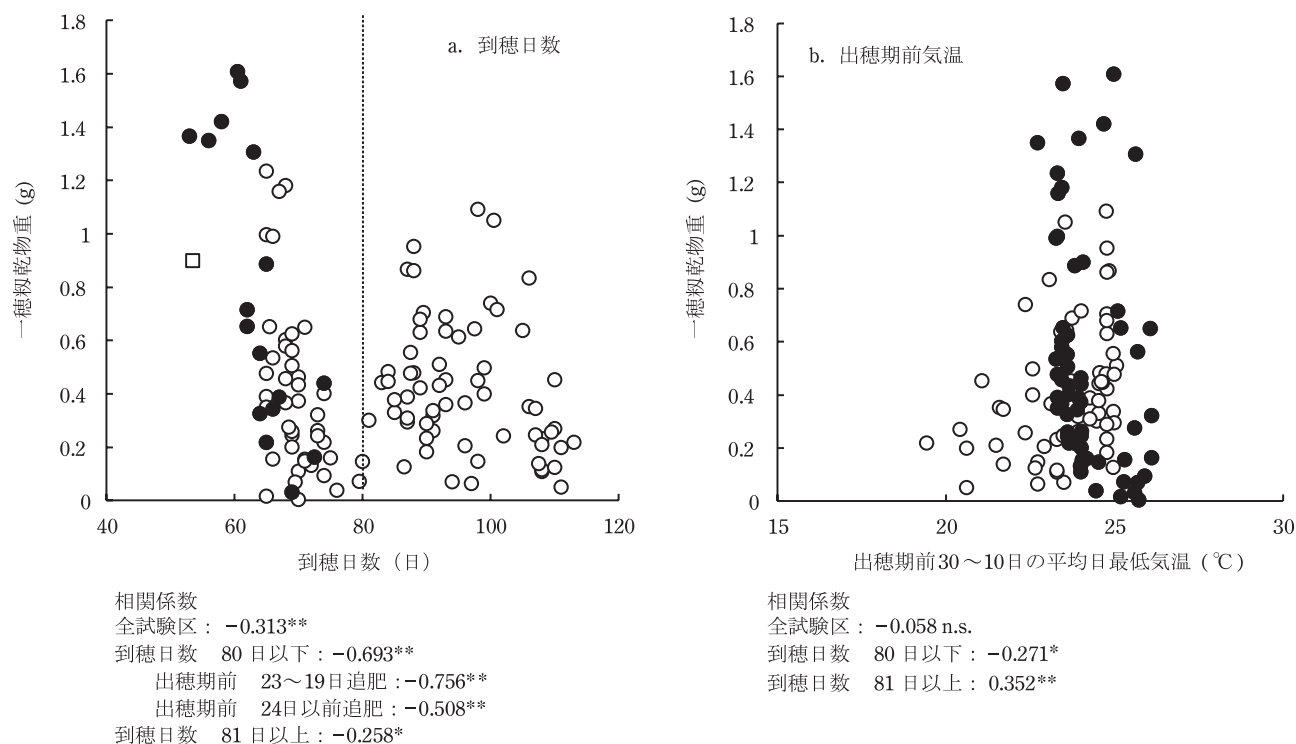
極短穂性を示す品種系統の一穂籾乾物重の最小値は 0.004 g 、最大値は 1.61 g であった(第2図)。到穂日数と一穂籾乾物重との間には相関係数 -0.313 の弱い負の相関が認められ、特に、到穂日数が80日以下となった試験区では相関係数は -0.693 と高かった(第2図a)。また、到穂日数が80日以下となった試験区の内、2回目あるいは3回目の追肥の施用時期が出穂期前23~19日となった試験区あるいはいずれの追肥も出穂期前24日以前となった試験区ともに、それぞれ相関係数 -0.756 、 -0.508 と有意な負の相関が認められた(第2図a)。一方で、到穂日数が81日以上となった試験区では相関係数は -0.258 と弱い相関であった。出穂期前30~10日の平均日最低気温と一穂籾乾物重との間には全試験区では相関は認められなかったが、到穂日数80日以下の試験区では相関係数 -0.271 の弱い負の相関が認められた(第2図b)。

極短穂性を示す品種系統の到穂日数と一穂籾乾物重の関係を交配組合せ別にみると、到穂日数が80日以下となった試験区では、一部の組合せにおいて到穂日数と一穂籾乾物重との間に負の相関が認められ、その他の組合せにおいても「たちあやか」を除き同様の傾向がみられた(第1表)。一方で、到穂日数が81日以上となった試験区では、到穂日数と一穂籾乾物重との間に一定の傾向は見られず、交配組合せによりその関係性は異なった。

通常の穂の形態を示す品種系統において、到穂日数と一穂玄米重との間には、全試験区あるいは到穂日数80日以下の試験区のいずれにおいても有意な相関は認められなかった(第3図)。

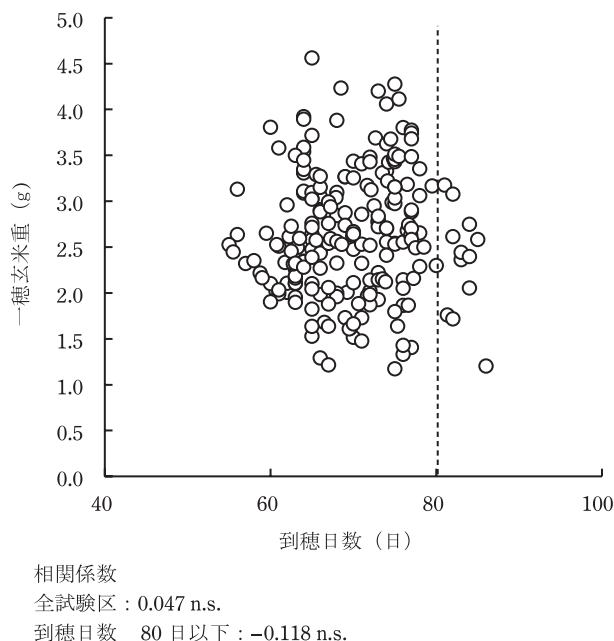
2. 極短穂性を示し早晩性が異なる4品種系統を用いた作期試験での検討(試験2)

5月30日、6月25日、7月20日移植に対する各品種系統の到穂日数は、「中国飼224号」でそれぞれ64日、55日、47日、「中国飼225号」で71日、65日、59日、「つきすずか」で96日、73日、56日、「つきことか」で118日、94日、



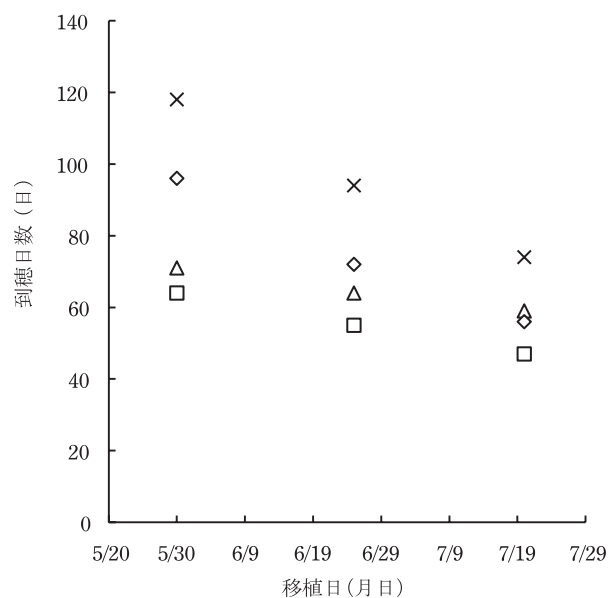
第2図 極短穂性を示す 64 品種系統 125 試験区における到穂日数および出穂期前気温と一穂粒乾物重との関係。

注) a. 到穂日数の図における凡例の●は 2 回目あるいは 3 回目の追肥の施用時期が出穂期前 23～19 日となった品種系統を、○はいずれの追肥の施用時期も出穂期前 24 日以前となった試験区を、□は 2 回目の追肥の施用時期が出穂期前 24 日以前、3 回目の追肥が出穂期前 18 日以降となった品種系統を示す。破線は、到穂日数 80 日を示す。b. 出穂期前気温における凡例の●は到穂日数 80 日以下、○は到穂日数 81 以上の試験区を示す。相関係数における **, * および n.s. はそれぞれ 1%, 5% 水準で有意であることおよび 5% 水準で有意でないことを示す。



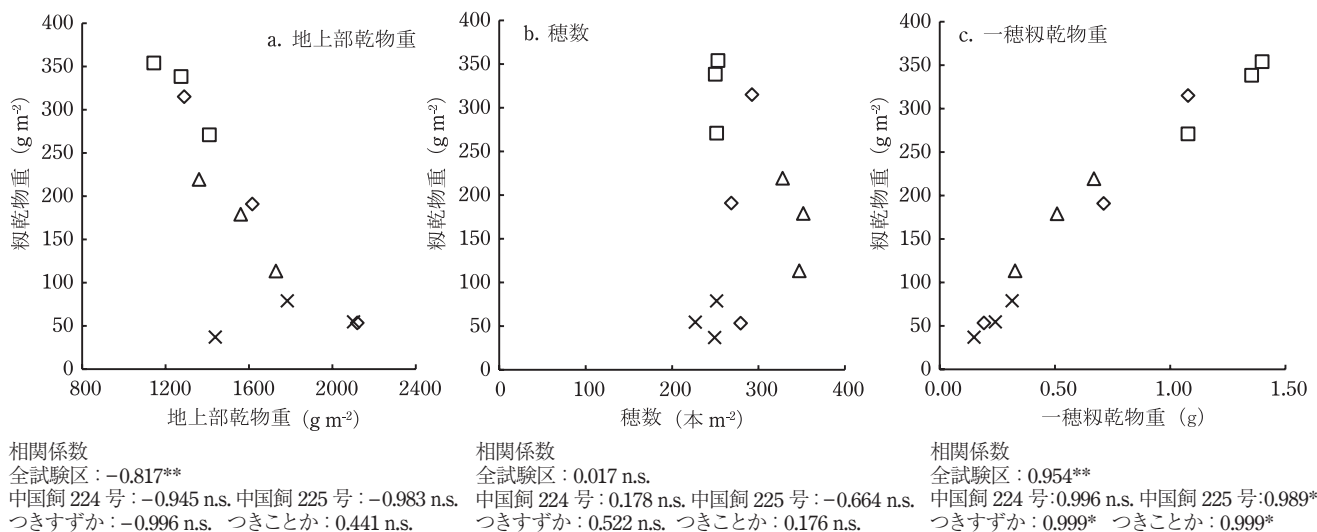
第3図 通常の穂の形態を示す 183 品種系統 215 試験区における到穂日数と一穂粒乾物重との関係。

注) 破線は到穂日数 80 日を示す。



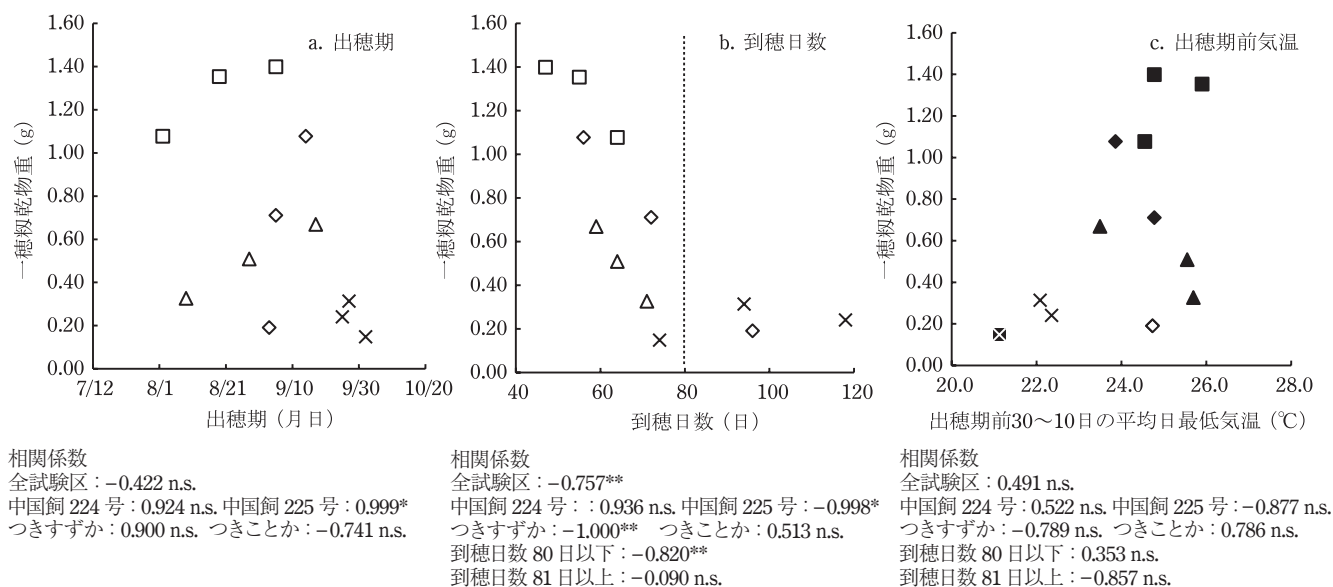
第4図 極短穂性を示す 4 品種系統の移植日と到穂日数との関係。

注) 凡例は、それぞれ□：中国飼 224 号、△：中国飼 225 号、◇：つきすずか、×：つきことかを示す。



第5図 極短穂性を示す4品種系統×3作期における地上部乾物重、穂数および一穂粒乾物重と粒乾物重との関係。

注) 凡例は、それぞれ□: 中国飼 224 号, △: 中国飼 225 号, ◇: つきすずか, ×: つきことかを示す。相関係数の **, * および n.s. はそれぞれ 1%, 5% 水準で有意であることおよび 5% 水準で有意でないことを示す。



第6図 極短穂性を示す4品種系統×3作期における出穂期、到穂日数および出穂期前気温と一穂粒乾物重との関係。

注) 凡例は、それぞれ□: 中国飼 224 号, △: 中国飼 225 号, ◇: つきすずか, ×: つきことかを示し、c 出穂期前気温の図における黒塗りは到穂日数 80 日以下の試験区を示す。出穂期の相関係数は暦値をシリアル値に変換した後に算出した。b. 到穂日数における破線は到穂日数 80 日を示す。相関係数の **, * および n.s. はそれぞれ 1%, 5% 水準で有意であることおよび 5% 水準で有意でないことを示す。

74 日であり、いずれの品種系統も移植日が遅くなるに従い to 穂日数は短くなった (第4図)。「つきすずか」および「つきことか」は、「中国飼 224 号」および「中国飼 225 号」と比較し、移植日の変動に伴う to 穂日数の変動が大きい傾向にあった (第4図)。

地上部乾物重と粒乾物重との関係では、全試験区で相関係数 -0.817 の高い負の相関が認められた (第5図 a)。品種系統毎にみると、「中国飼 224 号」、「中国飼 225 号」および「つきすずか」では、地上部乾物重の増加に伴い粒乾物重は減少する傾向にあったが、「つきことか」において

は一定の傾向は認められなかった (第5図 a)。穂数と粒乾物重との間には一定の傾向は認められなかった (第5図 b)。一穂粒乾物重と粒乾物重との関係では、全試験区では相関係数 0.954 の高い正の相関が認められ、いずれの品種系統も一穂粒乾物重の増加に伴い粒乾物重は増加する傾向にあった (第5図 c)。

出穂期と一穂粒乾物重との関係では、全試験区では相関は認められなかったが、「中国飼 224 号」、「中国飼 225 号」および「つきすずか」では出穂期が遅くなるに伴い一穂粒乾物重は増加する傾向があった (第6図 a)。到穂日数と一穂

初乾物重との関係では、全試験区では相関係数 -0.757 の高い負の相関が認められた(第6図b)。品種系統毎にみると「つきことか」では一定の傾向は認められなかったが、「中国飼224号」、「中国飼225号」および「つきすずか」では到穂日数が短くなるに従い一穂初乾物重は重くなる傾向にあり、到穂日数の変動が大きい「つきすずか」において増加の程度は大きかった(第6図b)。また、特に到穂日数が80日以下となった試験区に限ると、到穂日数と一穂初乾物重との間には相関係数 -0.820 の高い負の相関が認められた一方で、到穂日数が81日以上となった試験区では一穂初乾物重はいずれも 0.31 g 以下と低く相関は認められなかった(第6図b)。出穂期前の平均日最低気温と一穂初乾物重との関係では、全試験区あるいは到穂日数80日以下の試験区では相関は認められなかったが、品種系統毎にみると「中国飼225号」および「つきすずか」において出穂期前30~10日の平均日最低気温が低いほど、一穂初乾物重が重くなる傾向が見られた(第6図c)。

考 察

発酵粗飼料用イネとして有用な極短穂性を示す品種の効率的な種子生産方法の開発が求められている。一般的にイネにおいて子実収量は全乾物収量と収穫指数の積であり(石井1990)、種子を多く生産するためには多肥栽培や早植えにより地上部全重を重くする栽培方法が有効と考えられる。しかし、藤本ら(2016)は、「たちすずか」および「たちあやか」を用いた試験において地上部乾物重と種子収量との関係は負の相関あるいは無相関であったことから、これらの品種には一般的な品種とは異なる種子生産方法が必要であることを指摘している。本研究においても収穫期の地上部乾物重と初乾物重との関係は負の相関(第5図a)あるいは無相関(第1図a)であったことから、種子の増収を図るために地上部乾物重を重くする方法は、極短穂性品種には有効ではなく、一般的な品種とは異なる方法が必要であることが確認された。また、これまでの報告(保科・上藤2011, 保科2014, 藤本ら2016, 松下ら2014)と同様に、いずれの試験においても収量構成要素のうち、一穂初乾物重と初乾物重との間には高い正の相関が認められた一方で(第1図c, 第5図c)、穂数と初乾物重との間には一定の関係は認められなかった(第1図b, 第5図b)。このことから、極短穂性品種で初乾物重の多収を得るには、一穂初乾物重を重くすることが最も有効であることが確認された。

これまで、感光性が強く晩生の「たちすずか」や「つきすずか」と感光性が弱い中生の「たちあやか」とでは移植時期の種子収量に対する効果が異なることから、極短穂性品種系統の種子収量が品種の早晩性や移植時期の影響を受ける可能性が指摘されていた(藤本ら2016)。そこで、試験1において早晩性の異なる多数の極短穂性品種系統の一穂初乾物重を調査したところ、到穂日数が80日以下とな

る試験区では、到穂日数と一穂初乾物重との間に相関係数 -0.693 と高い負の相関がみられ、到穂日数が短くなる早生の品種系統ほど一穂初乾物重が重くなった(第2図a)。このことから極短穂性品種系統の一穂初乾物重に影響を与える因子として到穂日数、あるいは、試験1では移植時期がほぼ一定であることから出穂期や日長が推察された。また、試験1では幅広い熟期の品種系統に対して追肥の時期が限られているため追肥時期による一穂初乾物重への影響の他、遺伝的背景が異なる13通りの交配組合せからなる多数の品種系統を供試したことから、交配組合せ毎の到穂日数の偏りによる一穂初乾物重への影響について検討をする必要がある。さらに、「たちあやか」において出穂期前30~10日の平均日最低気温が低いほど穂長が長く種子収量が増加することが報告されおり(中込ら2015)、出穂期が異なる品種系統間や、同一の品種系統内においても作期により出穂期が異なることから出穂期前の平均日最低気温の影響についても検討する必要がある。

そこでまず、試験2の作期試験において到穂日数の効果を検討したところ、到穂日数が80日以下となった作期では、全試験区ではその相関は試験1と同様であり、品種系統毎にみた場合も、品種系統の早晩性にかかわらず、到穂日数が短くなる作期つまり晩植するほど一穂初乾物重が増加する傾向にあった(第4図, 第6図b)。しかし、出穂期との関係をみると、試験1では、移植時期が一定であることから到穂日数が80日以下となった試験区において、出穂期と一穂初乾物重との間にも負の相関があることが推察される。しかし、試験2では全試験区では出穂期と一穂初乾物重との間に相関は見出されず、品種系統毎にみると出穂期が遅い作期ほど一穂初乾物重は重くなる品種系統が多かった(第6図a)。このことから、出穂期あるいは日長そのものの一穂初乾物重に対する影響はないものと考えられた。次に、追肥の施用時期の影響について検討を行った。「たちすずか」や「たちあやか」での施肥試験では、一穂初数は幼穂分化期以降の窒素施用により増加し、穂首分化期以前の窒素施用により減少することが報告されている(保科2014, 松下ら2014, 松下ら2017)。そこで、試験1において追肥の一部が出穂期前23~19日の施用となった試験区と出穂期前24日以前の追肥となった試験区に分けて検討を行った結果、いずれにおいても到穂日数が80日以下となった試験区全体でみられた相関と同様の傾向が認められたことから(第2図a)、本試験においては追肥時期の影響は小さいものと考えられた。交配組合せによる一穂初乾物重への影響については、到穂日数が80日以下となった試験区において、「たちあやか」以外の交配組合せにおいて試験区全体でみられた相関と同様に、到穂日数の短縮に伴い一穂初乾物重が重くなる傾向があった(第1表)。このことから交配組合せによる一穂初乾物重への影響は小さいものと考えられた。さらに、出穂期前の気温の影響については、本試験において試験1では到穂日数80日以下の試験

区において弱い負の相関が認められ(第2図b), 試験2においても「中国飼225号」や「つきすずか」で出穂期前30~10日の平均日最低気温が低い程, 一穂乾物重が重くなる傾向があったため(第6図c), 出穂期前気温の影響は完全には否定できない。しかし, 全試験区ではあるいは到穂日数が80日以下の試験区に限った場合では試験1および試験2いずれにおいても出穂期前30~10日の平均日最低気温と一穂乾物重との間には相関は認められなかったことから(第2図b, 第6図c), 出穂期前気温の影響は小さいものと考えられた。

以上のことから, 本研究において極短穂性品種系統の一穂乾物重に影響を与えた主たる要因は, 到穂日数であったと考えられた。一方で, *SP1* に変異を持たない通常の穂の形態を示す品種系統では, 全試験区あるいは到穂日数が80日以下の試験区のいずれにおいても一穂玄米重と到穂日数との間に相関が認められなかった(第3図)。また, 藤本ら(2016)の試験では, 移植時期により到穂日数が大きく変動した通常品種の「クサノホシ」においては, 到穂日数が短くなった7月7日移植で, 6月2日移植より一穂乾物数が軽かったことから, 到穂日数の短縮に伴い一穂乾物重が増加する関係性は *SP1* に変異を持つ極短穂性品種系統に限り認められるものと考えられた。

一方, 到穂日数が81日以上においても一穂乾物重が重い品種系統が存在し(第2図a), 到穂日数が81日以上品種系統に限ると, 到穂日数と一穂乾物重とは弱い負の相関であったため全く別の要因が存在する可能性がある。交配組合せ別にみると, 到穂日数が80日以下でみられた関係性と同様の傾向を示す交配組合せも認められたが, 全体として一定の傾向は認められず, *SP1* 以外の遺伝的な背景による影響があった可能性が推察された(第1表)。

従来の報告(藤本ら2016, 保科2016, 中込ら2016)において, 感光性の強弱により種子収量に対する移植時期の効果が異なったが, この要因は到穂日数と一穂乾物重との関係から説明をすることができる。つまり, 感光性が強い品種系統であれば, 到穂日数は移植時期の影響を強く受けるため, 試験2の「つきすずか」のように移植時期により一穂乾物重も大きく変動しやすい(第4図, 第6図b)。また, 「つきことか」は極晩生であるため, 本試験では到穂日数の短縮による一穂乾物重の増加効果は認められなかった(第6図b), さらに晩植することで一穂乾物重が増加することが推察される。一方で, 「中国飼224号」や「中国飼225号」の様に感光性が弱い品種系統では移植日の変動による到穂日数の変動は, 感光性が強い品種と比較して明らかに小さい(第4図)。既存の報告(藤本ら2016, 保科2016, 中込ら2016)で「たちあやか」が6月下旬から7月上旬頃の晩植によって種子収量の増収効果が報告により異なるのは, 「中国飼225号」と同様に感光性が弱くかつ到穂日数がやや大きい中生品種であり, 他の栽培要因の影響がより強く現れやすいことが要因の一つとし

て考えられる。これら中生品種で到穂日数の短縮効果を明瞭に出すには, 本研究と同様に, あるいはさらに晩植を行うことが有効な手段の一つとして考えられる。また, 育種上, 中生品種には感光性遺伝子を導入することも種子生産効率を上げる上で検討する必要がある。その反面, 「中国飼224号」の様に感光性が弱くかつ十分に早生の品種系統では, 種子生産用として一穂乾物重を確保することは容易であるものの, 到穂日数を大きくすることは難しく, 稲発酵粗飼料用として一穂乾物重を軽くし, 茎葉で多収を得ることは困難ともいえる。そのため, 早生品種の育成については, 軽割割合を小さくし種子数を確保できる小粒性などの遺伝資源の利用等を併せて検討する必要がある。

なお, 本研究は基肥を十分に施用し, 栽植密度は18.5株 m^{-2} とやや密植条件と軽重を軽くする稲発酵粗飼料生産に適した栽培方法で行った。しかし, 「つきことか」について種子生産を目的として基肥少肥や疎植栽培で行った中込ら(2019)の試験では, 到穂日数が72日となった7月20日移植において, 5月30日移植や6月25日移植より明らかに乾物重が重く, 本試験と同様に到穂日数の短縮による一穂乾物重の増加効果が推察された。また, 「たちすずか」や「つきすずか」では本試験と同様に6月下旬移植においても種子生産に適した栽培方法を適用することで, 本研究より高い種子収量が得られている(藤本ら2016, 中込ら2018)。これらのことから既存品種で種子生産に効果があるとされる基肥を少肥にする施肥法や疎植などを検討することで, 到穂日数が比較的大きい条件でも一穂乾物重が重くなる可能性や同じ到穂日数でも一穂乾物重がより重くなる可能性は十分にあるものと考えられる。

短穂遺伝子 *SP1* の作用機作はまだ完全には解明されていないが, 1~15 cm 程度の幼穂内つまり幼穂形成期から穂ばらみ期頃の幼穂内で特異的に高い発現がみられることが報告されている(Liら2009)。今まで, 「たちすずか」と「たちあやか」の種子収量の穂肥に対する施肥反応の類似性や穂首分化期や幼穂形成期の施肥時期による反応の違いなどから, 種子収量と *SP1* との関わり方や関連する時期について考察されてきた(藤本ら2016, 松下ら2017)。本研究では到穂日数が一定以下の条件において, 一穂乾物重と到穂日数との間に負の相関関係があることが明らかとなり(第2図a, 第6図b), 移植時期が一穂乾物重に及ぼす影響の品種間の反応の差異についても同様に説明することができた。しかし, 到穂日数そのものが一穂乾物重に直接働いているとは考えにくい。本研究では, 移植日から出穂期までの積算気温についても2100℃未満において到穂日数が80日以下でみられた相関と同様の結果が得られ(図表略), 稲体の生育量つまり, 葉齢, 出穂期乾物重あるいは幼穂形成期乾物重が一穂乾物重に影響を与えている可能性が考えられる。その中で, 藤本ら(2016)は幼穂形成期の地上部乾物重と一穂乾物重に相関があったことを報告している。また, 本試験では各試験内で施肥量が同じであっ

たことから、到穂日数により幼穂形成期の稲体窒素状態が異なることは十分に考えられる。今後、これら影響についてはさらに詳細な検討が必要となる。自在に極短穂性品種系統の一穂粒乾物重つまり一穂粒数を制御するには、到穂日数やこれまでに報告されている栽植密度や施肥法と *SPI* との関わりについて検討するだけではなく、その他の種子収量に関わる栽培環境などの要因についても新たに検討する必要がある、*SPI* の発現に直接関わる因子の探索やその作用機作の解明が求められる。

謝辞：本試験の遂行あたり、農研機構西日本農業研究センターの業務科職員各位並びに契約職員各位には多大なるご支援をいただいた。ここに感謝の意を表する。なお、本試験の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究「収益力向上のための研究開発」（自給飼料分科会）において行われた。

引用文献

- 藤本寛・松下景・中込弘二・森伸介 2016. 短穂飼料イネ品種の効率的種子生産方法の検討. 近中四農研報 16: 13-27.
- 保科亨・上藤満宏 2011. 稲発酵粗飼料用品種「たちすずか」の収量および収量構成要素に及ぼす施肥の影響. 日本作物学会第 231 回講演会要旨集: 260-261.
- 保科亨 2014. WCS 専用水稲品種「たちすずか」の子実収量に及ぼす晩植条件での栽植密度および窒素施用の影響. 日本作物学会第 237 回講演会要旨集: 38-37.
- 保科亨・高桑将滋 2014. 発酵粗飼料専用水稲品種「たちすずか」の子実収量に及ぼす移植条件および窒素施用の影響. 日本作物学会第 238 回講演会要旨集: 8.
- 保科亨 2016. 発酵粗飼料専用水稲品種「たちあやか」の収量に及ぼす移植時期・栽植密度・窒素施用の影響. 日本作物学会第 241 回講演会要旨集: 9.
- 保科亨 2017. 発酵粗飼料専用水稲品種「たちあやか」の収量に及ぼす晩植条件での栽植密度・窒素施用の影響. 日本作物学会第 243 回講演会要旨集: 26.
- 石井龍一 1990. 収量成立過程と光合成, 呼吸の役割. 稲学大成第二巻 生理編: 545-553. 農文協会, 東京.
- 勝場善之助・藤本寛 2013. III. 「たちすずか」の効率的種子生産技術. “高糖分飼料イネ「たちすずか」栽培技術マニュアル” 農研機構近畿中国四国農業研究センター, 福山, 20-23.
- Li S., Qian, Q., Fu, Z., D. Zeng, D., Meng, X., Kyoizuka, J., Maekawa, M., Zhu, C., Zhang, J., Li, J. and Y. Wang, Y. 2009. Short panicle1 encodes a putative PTR family transporter and determines rice panicle size. The Plant J. 58: 592-605.
- 松下景・飯田修一・出田収・春原嘉弘・前田英郎・田村泰章 2012. 茎葉多収で消化性に優れ高糖分含量の飼料用水稲品種「たちすずか」の育成. 近中四研報 11: 1-13.
- Matsushita, K., Iida, S., Ideta, O., Ishii, T., Fujimoto, H., Watanabe, H. and Takahashi, Y. 2013. Effect of low planting density on the spikelet number in ‘Tachisuzuka’, a rice (*Oryza sativa* L.) cultivar with a short panicle for whole crop silage use. Grassl. Sci. 59: 124-127.
- Matsushita, K., Ishii, T., Ideta, O., Iida, S., Sunohara, Y., Maeda H. and Watanabe, H. 2014. Yield and lodging resistance of ‘Tachiyaka’ a novel rice cultivar with short panicle for whole-crop silage. Plant Prod. Sci. 17 (2): 202-206.
- 松下景・長岡一郎・笹原英樹・山口誠之・高橋能彦・渡邊肇 2014. 基肥, 穂肥と栽植密度が稲発酵粗飼料用品種「たちあやか」の初数に及ぼす影響. 日本作物学会第 237 回講演会要旨集: 34.
- 松下景・長岡一郎・笹原英樹・前田英郎・渡邊肇 2017. 短穂性の発酵粗飼料用イネ品種「たちあやか」の総初数におよぼす施肥法の影響. 日作紀 86: 35-40.
- 中込弘二・神田則昭・福嶋陽・藤本寛・出田収・重宗明子 2015. 出穂前の気温が極短穂稲発酵粗飼料専用品種「たちあやか」の穂長に及ぼす影響. 日本作物学会第239回講演会要旨集: 23.
- 中込弘二・神田則昭・福嶋陽・藤本寛・出田収・重宗明子 2016. 出穂前の気温, 施肥, 栽植密度が「たちあやか」の初数に及ぼす影響. 日本作物学会第 241 回講演会要旨集: 10.
- 中込弘二・出田収・出田収・松下景・春原嘉弘・石井卓朗・飯田修一 2018. 縞葉枯病抵抗性で糖含有率が高い稲発酵粗飼料専用品種「つきすずか」の育成. 農研機構報告西日本農研 18: 41-51.
- 中込弘二・出田収・重宗明子・松下景・石井卓朗・春原嘉弘・前田英郎・飯田修一・藤本寛 2019. 極晩熟期で茎葉乾物収量が高い発酵粗飼料専用イネ品種「つきことか」の育成および特性. 育種学研究 21: 124-129.
- 農林水産省生産局畜産部飼料課 2019. 飼料をめぐる情勢. http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/1_siryo/attach/pdf/index-392.pdf (2019/10/24 閲覧).
- 新出昭吾 2010. 乳牛における飼料イネWCS 給与と課題. 日草誌 55: 365-372.

Shorter Days to Heading Increased Dry Weight Per Panicle of Short-Panicle Rice Cultivars : Koji NAKAGOMI¹⁾, Hiroshi FUJIMOTO¹⁾, Kei MATSUSHITA²⁾, Hideki SASAHARA¹⁾, Akiko SHIGEMUNE¹⁾ and Osamu IDETA³⁾ (¹⁾Western Region Agricultural Research Center, NARO, Fukuyama, Hiroshima, 721-8514, Japan; ²⁾Institute of Crop Science, NARO; ³⁾Administrative Headquarters, NARO)

Abstract : To elucidate the factors that affect seed yield of rice cultivars with a short-panicle (SP) caused by a mutation in the *SPI* gene, we grew 64 SP cultivars in paddy fields in 2015 to 2018 and transplanted 4 SP cultivars (‘Chugokushi224’, ‘Chugokushi225’, ‘Tsukisuzuka’ and ‘Tsukikotoka’) on 3 dates in 2018 in paddy fields at the Western Region Agricultural Research Center. We recorded days to heading (DTH), dry weight per panicle, panicle number and panicle dry weight per m². Dry weight per panicle contributed to panicle dry weight per m², but panicle number did not. Dry weight per panicle had strong negative correlations with DTH in all SP cultivars and in all transplanting dates when DTH, 80: dry weight per panicle increased with shorter DTH.

Key words : Days to heading (DTH), Rice, Seed production, Short panicle, *SPI*, Whole crop silage.