

品種・遺伝資源

登熟期間のシンク、ソース関係からみた飼料向け水稻品種特性としての 茎部デンプンの再蓄積

山口弘道*・松村修

(農業・生物系特定産業技術研究機構)

要旨：水稻のホールクロップサイレージ向け特性として、登熟後期の茎部（稈および葉鞘）におけるデンプンの再蓄積に着目した。成熟期に高い茎部デンプン含有率を得る上で求められる品種特性を明らかにすることを目的に、その品種・系統間差について各器官のシンク、ソース関係や登熟後期の同化産物の分配との関係として検討した。成熟期の茎部デンプン含有率は、日本型品種・系統で高く、半矮性インド型品種・系統では僅かであった。日本型品種・系統ではシンク、ソース各器官の量や子実シンク活性と成熟期デンプン含有率との間に相関関係が見られた。日本型品種・系統で総粒数ならびに登熟初中期の穂重増加量/粒/日と成熟期デンプン含有率の間にはそれぞれ負、正の有意な相関が見られ、総粒数が少ないほど、また、登熟期間前半に子実のシンク活性が高いほど、茎部でのデンプンの再蓄積が高かった。再蓄積シンクとしての茎については、再蓄積が開始する登熟中期に粒当たりの茎重が大きいほど、ソースとしての葉については、登熟中期から成熟期にかけて粒当たりの緑葉重が大きく、成熟期の粒当たりの枯死器官重が少ないほど成熟期デンプン含有率が高かった。以上、茎部での高いデンプン再蓄積を得るための日本型品種・系統の特性が子実シンク能、子実シンクサイズに対する茎、緑葉、枯死器官の量との関係から明らかになった。

キーワード：再蓄積、飼料イネ、シンク、水稻、ソース、直播、デンプン、ホールクロップサイレージ

食料・農業・農村基本法の下、食料需要の高度化、多様化に対応した国内の食料供給体制の確立が望まれる。とりわけ、飼料については、輸入飼料への依存が大きく、食料自給率を大きく低下させているが、近年、水田を有効に利用しながら飼料自給率の向上を図る上で、飼料用稲に関する技術確立の必要性が高まっている（佐藤 1999a, b）。また、飼料の安全性の確保、水田機能の維持、稲作と畜産との間の耕畜連携、飼料と堆肥を介した資源の循環という面でも技術確立への期待が大きい。

飼料用稲は、「稲発酵粗飼料」として、ホールクロップサイレージ（以下 WCS）としての利用が着目され、稲作・畜産分野を中心に行政、試験研究、生産者が一体となった取り組みが全国各地で展開されている。イネを WCS として利用する場合に求められる特性としては、高い乾物収量、TDN（可消化養分総量）収量、発酵品質、家畜の嗜好性等が挙げられる。さらに、食用米以上の生産コスト低減が要求されることから、直播適性も求められる。稲の飼料利用については、米の生産過剰が顕著になった昭和 40 年代後半から 50 年代にかけて提唱され、試験例も少なくないが（野田 1974, 角田 1978a, b, 秋田 1980a, b）、社会的背景、制度、技術等が整わず広範な普及、定着には至らなかった。近年、BSE（牛海綿状脳症）問題等を契機に、自給飼料生産基盤、飼料の安全性確保の重要性に対する認識が高まり、転作作物としての制度面も整備され、技術面においても飼料イネ向け品種・系統育成、直播栽培に代表される低コスト稲作技術、収穫・飼料調製等の技術開発が進み、飼料イネ導入事例も増えつつある。

イネを WCS として実際に乳牛・肉牛等の反芻家畜に給与する場合、粒殻に覆われた子実が消化不十分のまま排泄されてしまうという問題が指摘されており、デンプンを中心とする可消化炭水化物のロスが大きく、イネ WCS 導入上の大きな課題となっている（藤岡 1985, 広田ら 1987, 名久井ら 1988）。山本ら（2001）は最近の報告で、イネ WCS を配合した TMR（混合飼料）を乳牛に給与した場合、未消化子実排泄率は 60% にもものぼると推定している。未消化子実に対しては、粒の損傷処理、破碎処理等をはじめとする消化性向上技術の開発が畜産分野において進められているが、その一方で消化・利用の比較的容易な茎葉部で、乾物収量ならびにデンプンを中心とする可消化炭水化物を確保することも重要であると考えられる。吉田（1993）、佐藤（1999b）も、子実への養分移行後、茎葉にも養分が残存するような飼料イネの開発が目標であろうと論じている。

水稻では出穂前に茎部に蓄積したデンプンを中心とする貯蔵炭水化物を、穂に転流後、再蓄積することが古くから知られ（馬場・橘高 1953, 戸狩・佐藤 1954, 村山ら 1955, 玖村 1956, 曾我・野崎 1957, 太田ら 1958, 村田ら 1997）、その程度は品種により違いがあることが速水（1983）、宋ら（1990）、斎藤ら（1991）、塚口ら（1996）により報告されている。しかし、いずれも子実生産向上を目的とした研究の一環での報告であり、茎部に再蓄積した貯蔵炭水化物の利用を主眼に扱った研究例は少ない。茎部に再蓄積した貯蔵炭水化物は、食用米の子実生産向上を前提にした場合、子実に移行できない余剰の同化産物とされ、茎葉部乾物重の増加を通じて収穫指数を下げる（斎藤ら 1991）ことから、

むしろ負の側面とも言える。茎部の貯蔵炭水化物再蓄積を農業上、積極的に利用する観点からの研究は、倒伏抵抗性(佐藤 1957, 河野・高橋 1961, 木根淵・原城 1962)や再生水稻(山本 1966, Ichii 1984, Turner and Jund 1993)に関する研究等一部に見られるのみである。しかし、WCS としてイネを利用する場合、子実と茎葉部でバランスのとれた可消化炭水化物を確保することは、飼料価値の向上、茎葉部の総栄養収量への貢献という面で着目すべきである。現在、各地で飼料向け的水稻品種の開発が進められており、また、生産現場においては、立地条件、経営条件等に応じてさまざまな品種が導入されているが、このような観点からの品種開発、品種選定も重要である。

貯蔵炭水化物再蓄積の品種間差については、再蓄積が起る登熟後期は各器官の老化や枯死等に伴い乾物生産量は低下するため、シンク器官である子実と茎、茎内での貯蔵炭水化物と体構成成分といった器官間、器官内の同化産物の分配のしかたが大きく影響すると考えられる。従来の報告において子実シンク能と再蓄積との関連が指摘されているが(和田・松島 1969, 速水 1983, 津野・王 1988, 斎藤ら 1991, 1993, 塚口ら 1996, 村田ら 1997)その品種間差については不明な点も多い。子実シンク能はシンクサイズと個々のシンクの生長活性(シンク活性)により決定されるが、和田・松島(1969)、斎藤ら(1993)はシンクサイズと稈や葉鞘に再蓄積する同化産物との関係を指摘しており、佐藤(1956b)や Wada ら(1993)は強制的に穎花数を減少させた場合の茎での炭水化物の動態の変化を報告している。また Samonte ら(2001)は粒大の大きく異なる小粒系統群と大粒系統群との間の茎での成熟期の非構造化炭水化物含有率の差異を報告している。一方で、津野・王(1988)、塚口ら(1996)は、登熟が不十分の場合においても茎葉部に同化産物が再蓄積する場合があることを指摘しており、シンクサイズのみならず、個々の子実の生長活性の関与も示唆される。また、再蓄積のシンク器官である茎の量も再蓄積シンクのサイズとして再蓄積の品種間差に関与することが予想されるが、この点についての報告は見られない。ソースの面では登熟後期は葉の老化や枯死が進行する時期でもあり、同化産物の供給源である葉の量や機能の低下の影響も大きいと考えられるが、こうした観点から再蓄積の品種間差を検討した例は少ない。佐藤(1956a, b)、村田ら(1997)、平野ら(1998)は、同一品種において枝梗間引き、剪葉処理、窒素施肥などを組合せシンクやソースの量を人為的に変化させることにより再蓄積程度が変動することを報告しているが、再蓄積の品種間差についても登熟期間の初当たりのソース器官の量に関与することが考えられる。さらに再蓄積程度を決定する上で重要な、登熟後期の子実と茎への同化産物の分配についても詳細な説明がされておらず(津野・王 1988)、検討が必要な問題である。

本研究ではデンプン消化率の高いイネ WCS に必要な品種特性として、茎部デンプンの再蓄積に着目した。成熟期

に高い茎部デンプン含有率を確保するために求められる品種特性を明らかにすることを目的に、成熟期茎部デンプン含有率の品種による差異を子実シンク能、再蓄積のシンク、ソース器官である茎、葉の量との関係等から検討した。

材料と方法

本研究は、中央農業総合研究センター北陸研究センター圃場(新潟県上越市)において、1999 年と 2001 年に実施した。供試した品種・系統は収量性が高く、飼料用に適すると考えられる、ふくひびき、北陸 187 号、北陸 184 号、どんとこい(日本型品種・系統、以下日本型品種とする)、南京 11 号、ハバタキ、北陸 147 号、タカナリ(半矮性インド型多収品種・系統、以下インド型品種とする)の計 8 品種・系統とした。栽培方法は過酸化石灰剤無粉衣の散播直播方式である潤土直播栽培(柗木・金 1991)で行い、播種量は各品種 80 粒 m^{-2} とし、5 月 11 日(1999 年)、5 月 9 日(2001 年)に播種した。各試験区の面積は 10 m^2 で、2 反復で行った。筆者らの共同研究(佐々木ら 1999)と同様の方法で、各試験区に調査枠($60 \times 60 \text{ cm}$)を 3 枠設置し、苗立後、各試験区内の調査区内の苗立密度を 60 本 m^{-2} となるよう調整した。施肥は、総施肥量が窒素成分で $8.0 \sim 8.5 \text{ gm}^{-2}$ となるように行った(第 1 表)。

各調査区の個体を、穂揃期(90%以上の穂が抽出した日)、穂揃後 20 日、成熟期(穂揃後 25~35 日、籾水分 20%程度)に地際より刈り取り、穂、茎部(稈および葉鞘)、葉身、枯死部(枯死葉身および枯死葉鞘)に切り分け、 70°C で 48 時間乾燥後、器官別乾物重(以下穂重、茎重、緑葉重、枯死部重とする。)を調査した。本研究では茎部貯蔵炭水化物の指標として、成熟期の貯蔵炭水化物の主要成分であるデンプンの含有率(茎部乾物中 0~2% 程度の遊離グルコースを含む)を用いた。1 mm 以下に粉碎した茎部サンプル 500 mg を、Beutler (1978)の方法に基づき、8 M 塩酸 5 ml、ジメチルスルホキシド 20 ml で 60°C で 60 分振蕩してデンプンを抽出、5 M 水酸化ナトリウム溶液により pH 4.0~5.0 に調整し、100 ml に定容した溶液 0.5 ml をグルコアミラーゼ処理(37°C 180 分)した。溶液中のグルコース濃度を高速液体クロマトグラフィー(日立 L-6000, 検出器: Shodex RI SE-61, カラム: Shodex KS-801 および KS-802, 溶離液: 超純水)により測定し、茎部乾物重あたりのグルコース含有率を算出、デンプン含有率とした。穂部サンプルは脱粒後、籾数調査を行い、さらに籾摺後、粗玄米収量(水分含

第 1 表 施肥条件.

年次		基肥	中間追肥	穂肥	総施肥量
1999	月/日	5/6	7/6	7/15	
	施肥量	2.0	3.0	3.0	8.0
2001	月/日	5/1	6/25	7/12	7/23
	施肥量	3.0	1.5	2.0	2.0

施肥量は窒素成分(gm^{-2})を示す。

基肥は粒状尿素化成肥料(NPK15-15-15)、追肥は硫酸を施用。

量 15% に換算) を測定した。

また、本研究においては、子実シンクサイズの指標として「総粒数 m^{-2} 」(以下「総粒数」とする)を、個々の子実のシンクの生長活性(生長速度、以下シンク活性とする)の指標として「穂重増加量/ 粒/ 日」、最終的な粒当たりの子実重の指標として「粗玄米収量/ 粒」を用いた。また、子実シンク当たりの茎部シンク量、緑葉ソース量の指標としてそれぞれ「茎重/ 粒」、「緑葉重/ 粒」を用い、子実シンク当たりの枯死器官量の指標として「枯死部重/ 粒」を用いた。また、登熟後期の同化産物の主要なシンクである穂、茎部のデンプン、デンプンを除いた茎部への粒当たりの同化産物の分配程度の指標としてそれぞれ、「穂重増加量/ 粒/ 日」、「茎部デンプン増加量/ 粒/ 日」、「デンプンを除く茎重増加量/ 粒/ 日」を用いた。

結 果

1. 成熟期の全乾物重、粗玄米収量

成熟期の全乾物重は 1999 年ではインド型品種の北陸 147 号とタカナリで高くなったが、2001 年では品種間差は有意ではなく、年次を通じて 1199.6 gm^{-2} 以上の全乾物重が得られた(第 2 表)。粗玄米収量においても品種間差が認められ、日本型品種に比べ、インド型品種で高い水準のものが多かった。

2. 穂揃期以降の茎部デンプン含有率の推移

茎部のデンプン含有率はいずれの品種も穂揃期には高かったが、穂揃後 20 日までに大きく低下した。その後、成熟期にかけての登熟後期には日本型品種では再び増加し、品種によっては穂揃期の水準と同等かそれを上回る程度の含有率を示した(第 3 表)。特に、ふくひびき、北陸 187 号等の日本型品種で高い含有率を示し、年次を通じて安定的に 20% 以上の水準となった。一方、インド型品種の成熟期デンプン含有率は茎重の 5% 以下となり、再蓄積は僅かであった。成熟期の全乾物重、粗玄米収量と茎部デンプン含有率との間に有意な相関は見られなかったが、日本型品種の収穫指数と茎部デンプン含有率との間に有意な負の相関関係($r = -0.620^*$)が見られたことから(第 2 表)、日本型品種では登熟期間の同化産物の分配をめぐり子実と茎のシンク間での競合関係が示唆された。以下、日本型品種について登熟後期の茎部デンプン再蓄積の品種間差についてシンク・ソース関係に着目した解析を進めた。

3. 日本型品種における子実のシンクサイズと茎部デンプン再蓄積との関係

日本型品種の子実シンク能をシンクサイズとシンク活性とにわけて解析するため、まず「総粒数」を子実シンクサイズの指標として茎部でのデンプン再蓄積、子実と茎への同化産物の分配との関係を検討した。総粒数と成熟期デンプン含有率との間には、高い負の相関関係($r = -0.754^{**}$)

第 2 表 成熟期の全乾物重、粗玄米収量及び収穫指数(直播)。

年次	品種	成熟期 全乾物重 (g/m ²)	粗玄米収量 (g/m ²)	収穫指数 (%)	
1999	日本型	ふくひびき	1199.6b	502.7b	41.9
		北陸187号	1280.0b	477.2b	37.2
		北陸184号	1272.4b	585.1ab	46.1
		どんとこい	1337.5b	599.8ab	44.7
	インド型	南京11号	1222.8b	581.6ab	47.5
		ハバタキ	1466.8b	632.4ab	43.2
		北陸147号	1515.8ab	586.2ab	38.4
		タカナリ	1937.8a	784.4a	40.0
2001	日本型	ふくひびき	1337.4a	587.0ab	37.6
		北陸187号	1217.6a	536.9b	37.8
		北陸184号	1628.5a	801.5a	41.9
		どんとこい	1299.6a	627.3ab	41.2
	インド型	南京11号	1465.0a	819.1a	47.6
		ハバタキ	1377.5a	709.3ab	43.9
		北陸147号	1502.6a	710.4ab	40.0
		タカナリ	1367.9a	719.2ab	44.7
成熟期茎部デンプン含有率との相関係数	日本型	-0.245	-0.427	-0.620*	
	インド型	-0.283	0.189	0.146	

各年次での同一アルファベット間には、5%水準で有意差がないことを示す(最小有意差法)。

成熟期茎部デンプン含有率との相関係数は年次込みの値を示す。
*は5%水準で有意であることを示す。

第 3 表 穂揃期以降の茎部デンプン含有率の推移(直播)。

年次	品種	茎部デンプン含有率 (%)			
		穂揃期	穂揃後20日	成熟期	
1999	日本型	ふくひびき	24. 3a	8. 1b	22. 4a
		北陸187号	19. 8b	6. 5b	26. 0a
		北陸184号	25. 4a	8. 3b	15. 9b
	インド型	どんとこい	17. 6b	4. 6b	9. 9b
		南京11号	17. 3b	2. 0b	1. 4c
		ハバタキ	11. 9d	2. 2b	3. 8c
		北陸147号	20. 3b	4. 9b	2. 4c
	タカナリ	10. 8d	1. 8b	1. 9c	
2001	日本型	ふくひびき	26. 4a	10. 0bc	25. 6a
		北陸187号	20. 6abc	11. 0b	25. 5a
		北陸184号	21. 8abc	17. 0a	19. 6b
	インド型	どんとこい	20. 9abc	5. 5bcd	9. 9cd
		南京11号	14. 6cd	2. 1d	4. 4ef
		ハバタキ	7. 6d	0. 0d	5. 0def
		北陸147号	18. 3bc	2. 6d	3. 6ef
	タカナリ	14. 7cd	3. 5d	2. 8f	

デンプンは遊離グルコースを含む。

各年次での同一アルファベット間には、5%水準で有意差がないことを示す(最小有意差法)。

が見られた(第 4 表)。総粒数と登熟初中期(穂揃後 20 日間)のシンク活性の指標である穂重増加量/ 粒/ 日との間には高い負の相関関係($r = -0.747^{**}$, 第 1 図(a))が見られ、総粒数が少ないほど登熟前半の個々の子実のシンク活性が高くなった。

4. 日本型品種における登熟期間の子実のシンク活性と茎部デンプン再蓄積との関係

続いて登熟期間の個々の子実のシンク活性とデンプン再蓄積との間の関係を「穂重増加量/ 粒/ 日」を子実シンク活

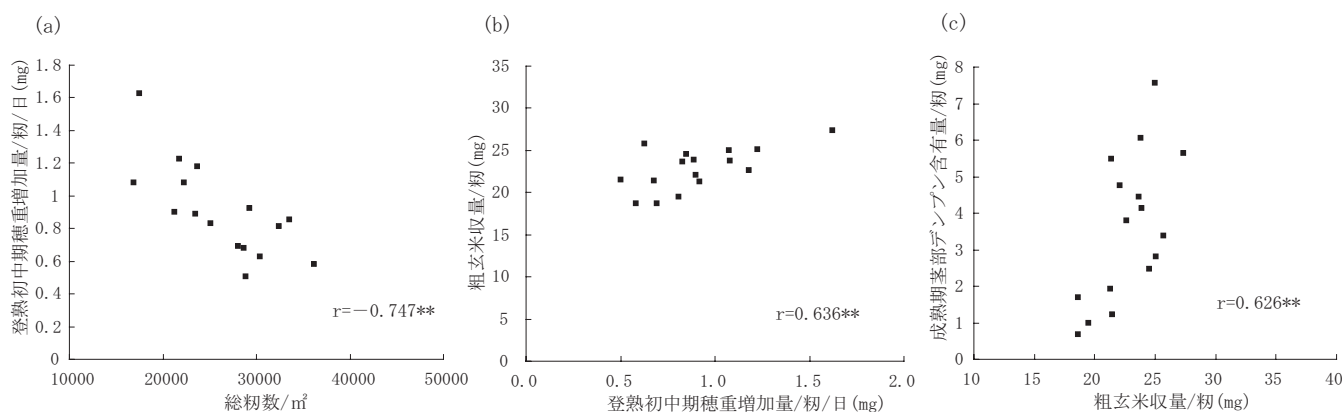
第4表 日本型品種のシンク・ソース器官のサイズ、活性に関する諸指標と成熟期茎部デンプン含有率との相関係数。

器官	指標分類	指標	成熟期茎部デンプン含有率との相関係数
シンク	子実シンクS	—	総粒数
	子実シンクA	登熟初中期	穂重増加量/籾/日
	子実シンクA	登熟後期	穂重増加量/籾/日
茎	茎部シンクS	穂揃後20日	茎重/籾
	緑葉ソースS	穂揃後20日	葉重/籾
	緑葉ソースS	成熟期	葉重/籾
ソース	枯死器官S	成熟期	枯死部重/籾

*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す。

穂揃後20日間を登熟初中期, 穂揃後20日以降成熟期までを登熟後期とした。

指標分類中のS, Aはそれぞれシンク, ソース器官のサイズ, 活性に関する指標であることを示す。



第1図 日本型品種の (a)総粒数と登熟初中期穂重増加量/籾/日 (b)登熟初中期穂重増加量/籾/日と粗玄米収量/籾 (c)粗玄米収量/籾と茎部デンプン含有量/籾との関係。デンプンは遊離グルコースを含む。

図中数字は相関係数, *, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す。

穂揃後20日間を登熟初中期, 穂揃後20日以降成熟期までを登熟後期とした。

性の指標として検討した。登熟初中期の穂重増加量/籾/日と最終的な成熟期茎部デンプン含有率との間には, 有意な正の相関関係 ($r = 0.523^{*}$) が認められ (第4表), 登熟初中期にシンク活性が高いほど成熟期茎部デンプン含有率は高まった。また, 登熟初中期のシンク活性が高いほど成熟期での最終的な粗玄米収量/籾は大きく ($r = 0.636^{**}$, 第1図 (b)), 粗玄米収量/籾が大きいほど茎部に蓄積する籾当たりの茎部デンプン含量は増加した ($r = 0.626^{**}$, 第1図 (c))。なお, 登熟後期のシンク活性と成熟期茎部デンプン含有率との間には相関関係は認められなかった (第4表)。

5. 日本型品種における再蓄積シンクとしての茎乾物重と茎部デンプン再蓄積との関係

続いて, 日本型品種のデンプン再蓄積シンクとしての茎の量と茎部デンプン再蓄積との関係を, 穂揃後20日の「茎重/籾」を指標として検討した。なお, 茎部で出穂前に蓄積したデンプンが子実に移行し, 再蓄積が開始する時期は品種や年次により多少変動すると考えられるが, 本研究では, 便宜的に穂揃後20日を子実への転流から再蓄積へ移

行する時点として統一した。穂揃後20日の茎重/籾と成熟期の茎部デンプン含有率との間には正の相関 ($r = 0.667^{**}$) が見られ (第4表), 再蓄積開始時に子実のシンクサイズに対して茎の量が十分にあるほど再蓄積が高くなった。また, 籾当たりのみならず一茎当たりの茎重と成熟期茎部デンプン含有率との間にも正の相関関係 ($r = 0.631^{**}$, 図表省略) が認められた。

6. 日本型品種におけるソースとしての登熟中後期の葉身乾物重と茎部デンプン再蓄積との関係

最後に, 日本型品種の茎部デンプン再蓄積のための同化産物を供給するソース器官としての葉の量と茎部デンプン再蓄積との関係を, 再蓄積開始 (穂揃後20日) 以降の「緑葉重/籾」を指標として検討した。また, 成熟期での枯死器官の量の指標として「枯死部重/籾」を用いた。穂揃後20日の緑葉重/籾と成熟期の茎部デンプン含有率とは, 日本型品種で高い正の相関関係 ($r = 0.638^{**}$) が認められた (第4表)。また, 最終的な成熟期の緑葉重/籾, 枯死部重/籾と成熟期デンプン含有率との間には, それぞれ高い正の相関関係 ($r = 0.840^{**}$), 負の相関関係 ($r = -0.757^{**}$)

が見られた (第4表). なお, 総粒数と単位面積当たりの枯死部重との間には高い正の相関関係 (相関係数 $r = 0.857^{**}$, 図省略) が見られ, 子実シンクサイズは器官の枯死にも影響した.

7. 日本型品種のシンク, ソース器官のサイズと登熟後期の同化産物の器官間, 器官内の分配との関係

登熟後期の同化産物の主要なシンクとして穂, 茎部のデンプン, デンプンを除いた茎部と大きく3つに分け, シンク・ソース器官のサイズや活性に関する諸指標が粒当たりの同化産物の3つのシンクの画分への分配にいかに関与するかを第5表に示した.

総粒数と登熟後期の穂重増加量/粒/日との間には正の相関関係 ($r = 0.548^*$) が見られたが, 茎部でのデンプン増加量/粒/日との間には高い負の相関関係 ($r = -0.716^{**}$) が見られ, 総粒数が少ないほど, 登熟後期に同化産物の穂への分配が抑えられ, 茎部デンプンへの分配が促された.

また, 穂揃後20日の茎重/粒と登熟後期の主要なシンク画分への同化産物の分配との関係を見ると, 穂重増加量/粒/日, デンプンを除く茎重増加量/粒/日との間に負の相関関係 ($r = -0.774^{**}$, -0.667^{**}) が見られた. 穂揃後20日の緑葉重/粒と登熟後期の主要なシンク画分への同化産物の分配との関係についても茎重/粒の場合と同様, 穂重増加量/粒/日, デンプンを除く茎重増加量/粒/日との間に負の相関関係 ($r = -0.748^{**}$, -0.648^{**}) が見られ, 子実のシンクサイズに対して再蓄積開始時の茎や緑葉の量が十分にあるものほど登熟後期の同化産物の穂や, デンプンを除いた茎部への分配が抑えられた.

考 察

成熟期における全乾物収量, 粗玄米収量は, 年次によっては生育期間の長いインド型品種において高い水準を示したが, 日本型品種でもインド型品種と同水準に近い水準の収量が得られた. 本研究における施肥量水準は必ずしも高くなく, 半矮性インド型品種の多収性は十分には発揮されていないとも言えるが, 供試した品種はいずれも散播直播栽培条件で全乾物, 玄米収量の面で安定的に一定の水準を確保できるものと考えられた.

成熟期における茎部デンプンの再蓄積については, 含有率, 含量ともに日本型品種で高いものが多く, インド型品種では総じて低くなった. 斎藤ら (1991), 塚口ら (1996) も日印交雑品種を含むインド型品種に比べて日本型品種では貯蔵炭水化物の再蓄積が高いことを報告している. 日本型品種では収穫指数と成熟期茎部デンプン含有率との間には負の相関が見られたことから, 津野・王 (1988) も指摘するように登熟期間の同化産物の分配をめくり子実部と茎部のシンク間での競合関係の存在が示唆された (第2表).

以下, 高い再蓄積が認められた日本型品種について子実シンク能, 再蓄積シンクとしての茎の量, ソースとしての葉の量と茎部デンプン再蓄積の品種間差との関係について考察する. 子実シンク能はシンクサイズとシンク活性により決定されるが, 子実シンクサイズと茎部デンプン再蓄積との関係については, 前述のように佐藤 (1956b), 斎藤ら (1993), Wada ら (1993) が報告している. 本研究における品種間の比較についても総粒数が少ないものほど茎部デンプン再蓄積は高くなることが認められた.

一方, 登熟期間の子実のシンク活性の指標として穂重増加量/粒/日と茎部デンプン再蓄積との関係を検討した. 総粒数と登熟初中期の子実シンク活性との間には負の相関関係が見られた一方で (第1図 (a)), 登熟初中期の子実シンク活性と成熟期茎部デンプン含有率との間には正の相関関係が見られた (第4表). 津野・王 (1988), 塚口ら (1996) は登熟初期の子実の生長と最終的な充実との間の正の相関関係を報告しているが, 本研究においても第1図 (b), (c) に見られた関係より, 総粒数が少ないものでは粒当たりの同化産物の集積が多く, 余剰として茎部に再蓄積するデンプンが多くなると考えられた. 以上より, 子実シンクサイズが小さいほど登熟初中期のシンク活性が高く, 登熟初中期のシンク活性が高いほど子実重/粒が大きくなり, 余剰として茎に再蓄積する同化産物が増加し, 再蓄積程度が高まることが明らかになった.

再蓄積開始時の茎重/粒を品種のデンプン再蓄積シンクとしての茎のサイズの指標として再蓄積との関係を検討したところ, 成熟期デンプン含有率との間に正の相関関係が認められた. また, 一茎当たりの茎重と成熟期茎部デンプン含有率との間にも正の相関関係が認められた. 再蓄積開始時点で茎と競合する同化産物のシンクである子実の粒数

第5表 日本型品種のシンク・ソース器官のサイズに関する諸指標と登熟後期の穂重増加量/粒/日, 茎部デンプン増加量/粒/日, デンプンを除く茎重増加量/粒/日との相関係数.

器官	指標分類	指 標	相 関 係 数		
			登熟後期 穂重増加量 /粒/日	登熟後期 茎部デンプン 増加量 /粒/日	登熟後期 デンプンを除 く茎重増加量 /粒/日
シンク	穂	子実シンク	—	総粒数	0.548*
	茎	茎部シンク	穂揃後20日	茎重/粒	-0.716*
ソース	葉	緑葉ソース	穂揃後20日	葉重/粒	0.268
					-0.774**
					0.376
					-0.667**
					0.368
					-0.648**

*, **はそれぞれ5%, 1%水準で有意であることを示す.

穂揃後20日間を登熟初中期, 穂揃後20日以降成熟期までを登熟後期とした.

に対して、再蓄積シンクとしての茎重が十分にあり、また一茎のサイズが十分にあるほど、デンプン再蓄積シンクとしての受容能力が高くなると考えられた。茎部デンプン再蓄積の品種間差について、シンク器官として子実のみならず茎自体の量の重要性も明らかになった。

登熟後期に茎部へ同化産物を供給するソース器官として、茎部デンプン再蓄積期間の葉重と茎部デンプン再蓄積との関係を検討した。本研究では登熟後期に緑葉重/籾が十分にあり、成熟期に枯死器官/籾が少ないもののほど茎部デンプン再蓄積が高いことが明らかになった(第4表)。登熟後期は、葉の老化にともなう葉面積の低下、葉身の機能の低下、下位葉等の枯死器官の増加等、ソース器官において量的・質的に大きな変化が生じている時期である。再蓄積する貯蔵炭水化物は主に登熟期間の同化産物に由来することは村山(1961)の報告から推察される。ソース器官の量と茎部デンプン再蓄積との関係については佐藤(1956a)は緑葉数が多く全重に占める葉身重の割合が高いほど程中の残存デンプン量が高くなることを報告しているがその品種間差についての知見は少ない。田中ら(1958)の報告によると、光合成産物は主に下位葉では稈基部や根へ転流することから、特に下位葉を維持し、枯死が少ないことが高い再蓄積を得る上で必要であると考えられる。田中・松島(1963)、村田ら(1997)、平野ら(1998)も下位葉剪葉処理による茎の炭水化物含有率の低下を報告している。一方で武田ら(1983)、斎藤ら(1993)、石原(1997)をはじめ出穂後の乾物生産の品種間差について、光合成速度等、機能面での個葉の老化との関連が指摘されており、同化産物の供給量自体を高めるためにはソース器官の量のみならず再蓄積期間にわたり機能を維持することも必要であると考えられ、今後検討すべき課題である。なお、本研究において総籾数が少ないほど単位面積当たりの枯死部重が減少することが明らかになった。関連して趙ら(1981)、Wadaら(1993)は穂切除や枝梗切除により止葉の老化が抑制されることを、徐ら(1981)は葉身の枯れ上がり籾の老化の関係等を報告している。したがって子実のシンク能は葉の老化や枯死過程を介しても茎部デンプン再蓄積に影響していると考えられた。

また、第5表の結果より、子実シンクサイズや活性、再蓄積開始時の茎や葉の籾当たりの量が登熟後期の同化産物が穂と茎、茎部のデンプンとデンプンを除いた茎部への分配にも関与することが明らかになった。登熟後期の同化産物は総籾数の少ないものでは、穂への分配が抑えられる一方で、茎のデンプンへの分配が促された。再蓄積開始時の茎重/籾、緑葉重/籾の大きいものでは穂への分配が抑えられるとともにデンプンを除いた茎部への分配が抑えられたことから、最終的には相対的に茎部のデンプン含有率が高くなることが推察された。従って子実シンク能や再蓄積開始時の茎、葉の量は登熟後期の同化産物の器官間、器官内の分配過程を通じて茎部デンプン再蓄積に影響すると

考えられた。

以上、日本型品種を中心に、茎部デンプン再蓄積の品種間差を主に子実シンク能と、子実シンクサイズに対する茎シンク、ソース器官の量から検討した。高い茎部デンプン再蓄積を得る上で、子実シンク面では、総籾数が少なく、登熟初中期の子実の生長が旺盛で最終的な籾の充実程度が高いことが必要であることが明らかとなった。子実シンク以外に再蓄積シンクとしての茎の面でも再蓄積開始時に籾当たり・一茎当たりの茎重が十分にあることが、ソース面では、再蓄積開始から成熟期にかけて籾当たりの緑葉が十分あり、成熟期に枯死器官が少ないことが必要であることが明らかとなった。

高い茎部デンプン再蓄積を示す品種では、年次によっては茎重の26.0%のデンプン含有率が得られたが、全重に占める割合は子実で確保できるデンプンに比べて低い水準であり、更なる含有率向上のための栽培的方策の検討も必要であろう。収穫時期を遅らせて茎部にデンプンを十分に蓄積させることも考えられるが、一方で子実の硬化につながり、子実の未消化率を高めてしまう可能性がある。現在子実シンクサイズ制御による再蓄積向上策を検討中であるが、子実シンクサイズの抑制は、子実重の低下を通じて全乾物重低下につながる可能性が大きい。高い全乾物重を確保しながらデンプン再蓄積の向上を得るための検討が更に必要である。また茎内でのデンプンと他の体構成成分等との間の同化産物の分配についても平野ら(1999)も報告するように両者は負の相関関係にあり、粗飼料として必要な繊維分や茎の支持機能を損なわない程度に茎部でデンプンへの分配を向上させることも必要である。

引用文献

- 秋田重誠 1980a. 飼料用稲に関連する試験研究の現状と問題点 (1). 農業技術 35 : 433-437
- 秋田重誠 1980b. 飼料用稲に関連する試験研究の現状と問題点 (2). 農業技術 35 : 481-487
- 馬場超・橘高昭雄 1953. 水稻の茎葉基部に於ける澱粉粒の形成に就いて. 日作紀 22 : 43-44
- Beutler, H.-O 1978. Enzymatic Determination of Starch in Foods by Hexokinase Method. Starch. 30 : 309-312
- 趙東三・横井誠一・村田吉男 1981. 水稻の光合成と乾物生産に関する研究. 第3報 穂切除が光合成、乾物生産および収量構成要素に及ぼす影響. 日作紀 50 : 67-71
- 藤岡澄行 1985. ホールクロップサイレージ水稻をめぐる生産技術の諸問題. 農業技術 40 : 481-487
- 速水彦彦 1983. 水稻多肥多収性品種の生理生態的特性の解明 第2報 光合成同化生産物の受容系能率、供給系能率からみた多肥多収性品種の特性. 東北農試研報 68 : 21-43
- 平野貢・保坂優子・杉山美保子・黒田栄喜・村田孝雄 1998. 水稻の登熟期窒素追肥と出穂前葉身摘除処理が葉身及び茎の炭水化物代謝に及ぼす影響. 日作紀 67 : 97-100
- 平野貢・上山純子・Truong Hop Tac・黒田栄喜・村田孝雄 1999. 登熟期水稻の茎における炭水化物と細胞壁成分の関係. 日作紀 68 :

- 99-104
- 広田年信・小山弘・馬淵敏夫・藤田究・多田伸司・馬淵繁樹・萩森福督・鳥生誠二・神坂英直・兼頭明宏・谷口弘季・渡辺全・中村幸生・野村庄二郎・石本周平・北村義雄・岡本一志 1987. 四国地域における導入外国稲を中心とする多収性水稻の生育特性と栽培技術. 四国農試研究資料 2: 1-105
- Ichii, M 1984. Studies on the utility of ratoon traits of rice as the indicator of agronomic characters in breeding. Mem. Fac. Agr. Kagawa Univ. 44: 1-50
- 石原邦 1997. 作物の生理生態からみた多収性. 一水稻を例として. 農業および園芸 72: 555-560
- 栢木信幸・金忠男 1991. 水稻の高密度散播直播栽培における生育制御. 北陸農試報 33: 55-81
- 木根淵智光・原城隆 1962. 稲体の 2,4-D による開張と倒伏抵抗力の考察. 日作紀 31: 122-124
- 河野通佳・高橋治助 1961. 稈の強さと化学成分との関係について. 土肥誌 32: 149-152
- 玖村敦彦 1956. 水稻に於ける炭水化物の生産及行動に関する研究. 第 3 報 環境条件が炭水化物の生産及行動に及ぼす影響. 日作紀 24: 324-330
- 村田孝雄・保坂優子・平野貢・黒田栄喜 1997. 水稻あきたこまちの登熟期における葉身および茎の炭水化物代謝. 日作紀 66: 221-228
- 村山登 1961. 水稻の登熟過程における物質の動態に関する研究. 第 6 報 14C による茎部蓄積炭水化物の標識とその移行ならびに分布. 土肥誌 32: 261-265
- 村山登・吉野実・大島正男・塚原貞雄・河原崎裕司 1955. 水稻の生育に伴う炭水化物の集積過程に関する研究. 農技研報 B4: 123-166
- 名久井忠・榎木茂彦・栗飯原友子・箭原信男・高井慎二 1988. 稲ホールクロップサイレージの調製と飼料価値の評価. 東北農試研報 78: 161-174
- 野田昌治 1974. 飼料用稲の品種と栽培. 農及園 49: 758-762
- 太田保夫・山田登・加美佐郷・田島克己・舟山謙三郎 1958. 水稻の登熟に関する研究. 第 2 報 登熟に対する遮光の影響. 日作紀 27: 196-200
- 斎藤邦行・柏木伸哉・木下孝弘・石原邦 1991. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析. 第 4 報 穂への同化産物の分配. 日作紀 60: 255-263
- 斎藤邦行・下田博之・石原邦 1993. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析. 第 6 報 新・旧両品種の比較を通じて. 日作紀 62: 509-517
- Samonte, S.O.PB, L. T. Wilson, A. M. McClung and L. Tarpley 2001. Seasonal Dynamics of Nonstructural Carbohydrate Partitioning in 15 Diverse Rice Genotypes. Crop Sci. 41: 902-909
- 佐々木良治・山口弘道・松葉捷也 1999. イネの最大分げつ力からみた散播直播水稻の限界苗立密度. 日作紀 68: 10-15
- 佐藤純一 1999a. 飼料イネ技術確立の必要性和今後の方向 (1). 畜産の研究 53: 3-8
- 佐藤純一 1999b. 飼料イネ技術確立の必要性和今後の方向 (2). 畜産の研究 53: 238-242
- 佐藤庚 1956a. 稲の組織内澱粉に関する研究. 第 2 報 遮光並に窒素施肥と組織澱粉の消長及び澱粉との関係. 日作紀 24: 154-155
- 佐藤庚 1956b. 稲の組織内澱粉に関する研究. 第 3 報 出穂期の葉身切除, 枝梗間引と稔実及び稈内澱粉との関係. 日作紀 24: 286-287
- 佐藤庚 1957. 稲の組織内澱粉に関する研究. 第 4 報 倒伏抵抗性に関する一要素としての澱粉含量 予報. 日作紀 26: 19
- 曾我義雄・野崎倫夫 1957. 水稻における蓄積炭水化物の消長と登熟との関係. 日作紀 26: 105-108
- 徐錫元・茶村修吾・早川利郎 1981. 水稻穂の老化とその防止に関する研究. 第 1 報 登熟の進行にともなう糊の脱水素酵素活性の変化とその品種間差異. 日作紀 50: 91-97
- 宋祥甫・縣和一・川満芳信 1990. 中国産ハイブリッドライス of 物質生産に関する研究. 第 3 報 収量生産期間における非構造性炭水化物及び全窒素濃度の変動からみた子実生産特性. 日作紀 59: 107-112
- 武田友四郎・岡三徳・県和一 1983. 暖地における水稻品種の物質生産に関する研究. 第 1 報 明治期以降の新旧品種の乾物生産特性. 日作紀 52: 299-306
- 田中明 1958. 葉位別に見た水稻葉の生理機能の特性及びその意義に関する研究. 第 11 報 各葉位葉の同化作用力及び同化産物の移動. 土肥誌 29: 327-333
- 田中孝幸・松島省三 1963. 水稻収量成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第 64 報 登熟機構に関する研究 11 早期発育停止糊の発生経過とその予察法. 日作紀 32: 35-38
- 戸狩義次・佐藤庚 1954. 水稻に於ける炭水化物の生産及行動に関する研究. 第 2 報 生育に伴う器官内澱粉量消長に関する研究. 日作紀 22: 98-99
- 塚口直史・堀江武・大西政夫 1996. 水稻の登熟に及ぼす登熟初期の非構造性炭水化物の影響. 日作紀 65: 445-452
- 津野幸人・王余龍 1988. 水稻の登熟過程にみられた品種間差異とその原因の解析. 一 稲当たり葉面積の意義について. 日作紀 57: 119-131
- 角田重三郎 1978a. コメのエサ化と「デントライス」計画 (1). 畜産の研究 32: 1419-1425
- 角田重三郎 1978b. コメのエサ化と「デントライス」計画 (2). 畜産の研究 33: 3-6
- Turner, F.T, and M.F.Jund 1993. Rice Ratoon crop yield linked to main crop stem carbohydrates. Crop Sci. 33: 338-341
- 和田源七・松島省三 1969. 水稻収量成立原理とその応用に関する作物学的研究. 第 96 報 穎花数と登熟歩合と収量との関係, とくに最適モミ数と最適登熟歩合について. 日作紀 38: 294-298
- Wada, Y., K. Miura and K.Watanabe 1993. Effects of source-to-sink ratio on carbohydrate production and senescence of rice flag leaves during the ripening period. Jpn. J. Crop. Sci. 62: 547-553
- 山本武雄 1966. 水稻の再生二期作に関する研究. 第 1 報 収穫前における側芽の幼穂分化について. 愛知学芸大学研究報告 15: 49-54
- 山本泰也・水谷将也・浦川修司・荻田修一・後藤正和 2001. 乳牛飼養における飼料イネサイレージ TMR の利用性. 一飼料イネサイレージ多給 TMR の飼料特性. 日草誌 47 (別): 248-249
- 吉田宣夫 1993. ホールクロップ稲の生産と利用. 畜産の研究 45: 587-594

The Re-accumulation of Starch in the Stem of Rice at Harvest Viewed from a Sink-Source Relationship as a Characteristic of Whole Crop Silage : Hiromichi YAMAGUCHI^{*}, Osamu MATSUMURA (*Natl.Agr.Res.Cent., Joetsu 943-0193, Japan*)

Abstract : The re-accumulation of starch in the stem (culm and leaf sheath) of rice cultivars at harvest was examined from the viewpoint of the sink-source relationship as one of the characteristics of rice whole crop silage. Although stem starch content at harvest was high in some japonica cultivars, it was low in semi-dwarf indica cultivars. Some traits related to sink or source organ, especially in japonica cultivars, correlated with stem starch content at harvest. Spikelet number and the rate of increase in panicle dry weight per spikelet during the early-middle stage of ripening showed a significant negative and positive correlation with stem starch content at harvest respectively. Stem dry weight and leaf dry weight per spikelet at the middle stage of ripening also showed a significant positive correlation with stem starch content at harvest. These results suggested that the difference among japonica rice cultivars in their stem starch content at harvest could be determined from the size of their sink (grain and stem) and source (leaf) organs and the growth rate of the grain during the ripening period.

key words : Direct seeding, Re-accumulation, Rice (*Oryza sativa* L.), Sink, Source, Starch, Whole crop silage
