

四倍体イタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) における高乾物率選抜の効果

久保田明人^{*1)}・上山 泰史^{*2)}・秋山 征夫^{*1)}・藤森 雅博^{*1)}

抄 録：早生の四倍体イタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) 系統「東北2号」(以下、TK2) から、3世代にわたり選抜した高乾物率選抜系統「TK2H-3rd」と、さらに1世代選抜した「TK2H-4th」を圃場に播種し、耐雪性、出穂始日、倒伏程度、1番草の草丈、乾物率、乾物重、NFC (Non fiber carbohydrate: 非繊維性炭水化物) を測定した。「TK2H-3rd」は「TK2」よりも乾物率とNFCが高かった。二倍体と同様に、四倍体についても乾物率で選抜できることが明らかとなった。「TK2H-4th」を用いて異なる播種量に対する反応を「TK2」と比較したところ、「TK2H-4th」は「TK2」に比べ、低播種量区でより乾物率とNFCが高まる傾向が認められた。「TK2H-3rd」および「TK2H-4th」の高乾物率特性には、NFCの蓄積が関与していると考えられた。

キーワード：イタリアンライグラス、高乾物率、耐雪性、四倍体

Effects of High Dry Matter Ratio Selection in Tetraploid Italian Ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) : Akito KUBOTA^{*1)}, Yasufumi UHEYAMA^{*2)}, Yukio AKIYAMA^{*1)} and Masahiro FUJIMORI^{*1)}

Abstract : The objective of this study was to evaluate the dry matter ratio and other agronomic characteristics in our Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) strain “TK2H-3rd,” which was selected from the “TK2” tetraploid strain with a high dry matter ratio through 3 generations. We sowed “TK2H-3rd” and “TK2” for 3 years and investigated snow endurance, heading date, lodging tendency, plant length, dry matter ratio and weight, and amount of non-fiber carbohydrate (NFC). We confirmed that “TK2H-3rd” had a higher dry matter ratio and NFC than those of “TK2.” “TK2H-4th,” which was selected from “TK2H-3rd” for 1 more generation with a high dry matter ratio, was tested for responses to a low sowing rate. TK2H-4th had a higher dry matter ratio and NFC than those of “TK2,” especially in low sowing plots. Therefore, we concluded that the higher dry matter ratio of “TK2H-3rd” and “TK2H-4th” was partially attributable to a higher accumulation of NFC than that by “TK2.”

Key Words : High dry matter ratio, Italian ryegrass, Snow endurance, Tetraploid

I 緒 言

温暖地においてイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) は、水田裏作や転作田における夏作飼料作物との輪作体系に取り入れられている。しかし、寒冷地においては耐雪性が他の寒地型牧草に比べて劣ることから (土屋・岡部 1962) 栽培が難しく、旧北陸農業試験場を中心に耐雪性品種の育成が行われてきた。イタリアンライグラスにおいては、四倍体系統が二倍体系統よりも耐雪性に優

れており (岡部 1975)、耐雪性育種は四倍体が中心となった。その結果、耐雪性に優れた四倍体品種「ナガハヒカリ」が育成された (小林ら 1992)。しかし、「ナガハヒカリ」は中生品種であるため、寒冷な東北地域においては組み合わせ可能な夏作飼料作物に限られることから、作付面積は少ない (農林水産省大臣官房統計部 2007)。食用米の生産調整が進み、水田あるいは転換畑の他作物への利用が求められている昨今、主要な寒地型牧草の中で耐湿性が強く (有門 1964; 森・小川 1967)、良質で収量

* 1) 農研機構 東北農業研究センター (NARO Tohoku Agricultural Research Center, Morioka, Iwate 020-0198, Japan)

* 2) 農研機構 近畿中国四国農業研究センター (NARO Western Region Agricultural Research Center, Ohda, Shimane 694-0013, Japan)

2012年10月22日受付、2013年2月4日受理

性の高いイタリアンライグラスは、耐雪性を向上させることによって東北地域においても優良な粗飼料作物となりうる。そこで筆者らは早生の四倍体系統から耐雪性に関して選抜を行い「東北2号」(以下、TK2)を育成した。イタリアンライグラスは他の寒地型牧草に比べて乾物率が低く、四倍体は二倍体に比べてさらに低いため、良質なサイレージを作るために必要な乾物率まで予乾させるのに時間を要し、低温や降雨など春の不安定な気象条件の影響を受けやすい。二倍体では乾物率について選抜できることが報告されており(藤原ら 1999)、四倍体についても同様に選抜できるものと考えられた。二倍体においては、乾物率は葉鞘部搾汁液のBrix値と相関があることが知られており(深沢ら 1999)、筆者らは「TK2」を母材として、乾物率とBrix値を選抜指標として3世代にわたって選抜し、高乾物率選抜系統「TK2H-3rd」を育成した。本試験の目的は、早生四倍体イタリアンライグラスにおける乾物率に関する選抜効果を、「TK2H-3rd」の特性から確認することである。また、乾物率に関してさらに1世代選抜した「TK2H-4th」を用いて、倒伏を防ぐために播種量を減らした試験区を設け、高乾物率系統の各形質における反応を調査し、乾物率に寄与する要因を検討する。

圃場および温室管理において、東北農業研究センター研究支援センター業務第1科の加藤大輔、田村恒、角掛慶哉、吉澤信行の諸氏の、実験補助において高橋節子氏のご助力を頂き、ここに記して深謝する。

II 材料と方法

1. 試験1

イタリアンライグラスの早生の耐雪性四倍体系統

である「TK2」と、これを母材として乾物率および葉鞘部搾汁液のBrix値を指標として、3世代にわたり選抜した高乾物率系統「TK2H-3rd」を供試した。乾物率については、1番草出穂始めから約2週間後に植物体全体を刈り取って生重を測定し、70度で48時間乾燥したあと乾物重を測定し、乾物率を算出した。Brix値については、刈り取る前に最長茎を1本地際で切り取り、葉鞘部をニンク搾り器で搾って、汁液をデジタル糖度計(PR-101、株式会社 アタゴ、東京)で測定した。各世代の選抜率は、1世代目が5%(5/100)、2世代目が4.2%(10/240)、3世代目が3.3%(10/300)であった。同世代と比べて、乾物率については平均で1.0~1.7ポイント、Brix値については平均で1.6~4.7ポイント高い個体を選抜した。育成経過を表1にまとめた。

試験は岩手県盛岡市にある東北農業研究センター内の試験圃場(厚層多腐植質黒ボク土)で行った。試験区は各プロット長さ5m、条間0.5mの1条播きで、4反復乱塊法とし、2008年、2010年および2011年の9月中下旬に圃場に播種した。播種量は、2008年は各プロット7.5g(3.0g/m²)とした。2010年および2011年は、倒伏を予防するため播種量を減らし、各プロット5.0g(2.0g/m²)とした。基肥として化成肥料N:P₂O₅:K₂Oを各成分で0.8kg/a、追肥として播種翌年の4月下旬に各成分0.3kg/aを施用した。

2. 試験2

「TK2」と、「TK2H-3rd」から乾物率についてさらに1世代選抜した系統である「TK2H-4th」を供試した(表1参照)。試験区は播種量と系統を要因とする4反復乱塊法で配置した。播種量は、標準区で各プロット5.0g(2.0g/m²)、少量区で各プロット1.5g(0.6g/m²)とした。2009年の9月18日に

Table 1 Breeding process of TK2H-3rd and TK2H-4th.

	First selection		Second selection		Third selection		Fourth selection	
	Dry matter ratio(%)	Brix value	Dry matter ratio(%)	Brix value	Dry matter ratio(%)	Brix value	Dry matter ratio(%)	Brix value
Average of TK2	18.5	9.0	No data	No data	19.6	9.7	20.8	No data
Average of population ¹	18.5	9.0	23.1	11.0	20.7	10.3	22.3	No data
Average of selected plants	20.2	13.7	24.2	12.9	21.7	11.9	23.4	No data
Selection rate	5.0%	(5/100)	4.2%	(10/240)	3.3%	(10/300)	3.3%	(10/300)
Notes.					Their progenies are TK2H-3rd.		Their progenies are TK2H-4th.	

1. Average of plants pre-selected with heading date since second selection.

播種した。基肥として化成肥料N:P₂O₅:K₂Oを各成分で1.0 kg/a、追肥として翌年の4月下旬に各成分0.3 kg/aを施用した。その他は試験1に準じて行った。

3. 調査方法 (試験1および試験2共通)

耐雪性、1番草出穂始日、倒伏程度、1番草刈り取り時の草丈、乾物率、乾物重を調査した(倒伏程度は2009年および2010年播種のみ)。耐雪性は融雪後に雪腐病による葉枯れ程度から評価した。乾物重の調査は各プロット全刈りによって行った。乾物率については、各プロットから生草重で1000 gから2000 gのサンプルを採取し、70度で48時間乾燥したあと乾物重を測定し、その乾物率をプロットの乾物率とした。2009年および2010年播種の試験については、乾物率の推定精度を高めるため、各プロット3箇所からサンプルを採取した。

2008年、2009年および2010年の試験については、乾物率推定のサンプルの一部で、飼料成分分析を行った。分析は十勝農業協同組合連合会に委託した。

4. 試験3

「TK2」および「TK2H-3rd」を用いて、個体植え試験を行った。試験区は「TK2」を10個体×3反復、「TK2H-3rd」を100個体×3反復(畝間0.75 m×株間0.75 m)の乱塊法とした。2008年9月24日に圃場に移植した。基肥として化成肥料N:P₂O₅:K₂Oを各成分で0.8 kg/a、追肥として2009年4月下旬に各成分0.3 kg/aを施用した。出穂始日の平均か

ら約2週間後に、プロット毎に全個体から5茎ずつをサンプリングし、70度で48時間乾燥したあと乾物重を測定し、乾物率を算出した。

5. 統計解析

統計解析は、SAS ver. 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) を利用した。試験1および試験3の乾物率については、「TK2H-3rd」が「TK2」よりも高いという帰無仮説のもと、対応のある片側t検定を行った。試験2については、播種量と供試系統を要因とする二元配置分散分析を行った。

III 結 果

試験地における2000年以降の平均積雪期間は70日不足であるのに対し、2010年および2011年播種の試験においては、積雪期間が約80日、100日と比較的長く、雪腐病による葉枯れが多くみられたが、被度が低下するほどの被害はなかった。また融雪後の低温や高温により、各年で出穂始日の変動したが(表2および3)、試験の継続を妨げるような致命的な事態は起こらず、概ね気象条件は安定していた。

表2に試験1の、各試験年における「TK2」および「TK2H-3rd」の耐雪性、出穂始日、倒伏程度、1番草の草丈、乾物率、乾物重、および飼料成分分析の結果を示した。耐雪性について有意差はみられなかったが、年次によっては「TK2H-3rd」がやや優れた。出穂始日については、2008年で「TK2H-3rd」がやや晚かったが、他の年では大きな差はみ

Table 2 Characteristics of tested strains in each test year.

Seeding year	Sowing rate (g/m ²)	Strain	Snow endurance (1-9) ³	Heading date (Days) ⁴	Lodging tendency (1-9) ⁵	Plant length ¹ (cm)	Dry matter ratio (%)	Dry matter weight (kg/10a)	NFC ² (%)
2008	3.0	TK2	4.0	6.0	No data	107	19.5	998	22.2
		TK2H-3rd	4.0	7.3		108	19.4	1015	25.5
		P value ⁶	n.c. ⁷	0.003		0.686	0.416	0.830	0.019
2010	2.0	TK2	2.8	15.5	3.5	105	19.3	410	23.9
		TK2H-3rd	3.0	15.3	4.0	106	20.6	530	26.5
		P value	0.356	0.537	0.705	0.702	0.015	0.029	0.165
2011	2.0	TK2	2.8	10.0	No data	119	20.3	590	No data
		TK2H-3rd	3.5	10.0		120	21.4	661	
		P value	0.097	n.c.		0.848	0.017	0.488	

1. At first heading stage.

2. Non fiber carbohydrate.

3. 1 means very poor and 9 means excellent.

4. Number of days from 1 May.

5. 1 means no lodging and 9 means completely lodged.

6. Probability of paired t-test. For dry matter ratio, values are one-tailed t-test.

7. Not calculated.

られなかった。倒伏程度については2010年のみのデータであるが、「TK2H-3rd」がやや倒伏する傾向であった。草丈については、各年とも有意差はみられなかった。乾物率については、播種量が3 g/m²である2008年には有意差はみられなかったが、2010年および2011年の試験においては、「TK2H-3rd」が「TK2」よりも有意に高かった (P<0.05)。乾物重については、2010年は「TK2H-3rd」が「TK2」よりも有意に高かった (P<0.05) が、2008年と2011年の試験においては有意差がなかった。飼料成分分析の結果、2008年は「TK2H-3rd」が「TK2」よりもNFC (Non fiber carbohydrate: 非繊維性炭水化物) が有意に高かった (P<0.05)。2010年は有意ではないが、同様の傾向がみられた。

表3に試験2の、「TK2」および「TK2H-4th」の異なる播種量における耐雪性、出穂始日、倒伏程度、1番草の草丈、乾物率、乾物重、および飼料成分分析の結果と、各形質における二元配置分散分析の結果を示した。耐雪性については、標準区が少量区よりも優れた (P<0.05)。有意ではないが、「TK2H-4th」が「TK2」よりも耐雪性に優れる傾向がみられた。出穂始日に有意差はなかった。倒伏程度については有意ではないが、標準区が少量区より倒伏する傾向がみられ、また「TK2H-4th」が「TK2」よりも倒伏する傾向であった。草丈に有意差はみられなかった。乾物率については、少量区が標準区よりも高く (P<0.01)、「TK2H-4th」が「TK2」よりも高かった (P<0.001)。また播種量と系統の交互

作用についても有意性がみとめられ (P<0.05)、「TK2H-4th」は「TK2」に比べ、少量区でより乾物率が高まった。乾物重については標準区が少量区よりも有意に高かった (P<0.05)。NFCについては少量区が標準区よりも有意に高かった (P<0.05)。系統間に有意な差は認められなかったが、「TK2H-4th」が「TK2」よりも高い傾向であった。乾物率と異なり交互作用は有意ではないが、「TK2H-4th」は「TK2」よりも、少量区で、よりNFCが高まる傾向であった。

試験3の個体植え試験においては、「TK2」の乾物率が21.2%であったのに対し、「TK2H-3rd」は22.0%であった。P値は0.006であり、有意差がみられた。

IV 考 察

試験1、試験2および試験3の結果から、高乾物率選抜系統「TK2H-3rd」および「TK2H-4th」は、その選抜母材である「TK2」よりも乾物率が高いと推察された。2008年播種の条播試験の結果では乾物率に差が見られなかったが、個体植え試験においては有意差が確認できた。2008年播種の条播試験における飼料成分分析の結果は、他の試験年と同様にNFCが高かったことから、2008年の乾物率に差が見られなかった理由として、2008年の播種量が3.0 g/m²とやや多かったことによる倒伏のため、サンプルの表面が濡れていたことが考えられる。2008年の倒伏程度は調査していないが、2010年の試験にお

Table 3 Responses of tested strains in different sowing rate and P values of two-way ANOVA.

Sowing rate	Strain	Snow endurance (1-9) ³	Heading date (Days) ⁴	Lodging tendency (1-9) ⁵	Plant length ¹ (cm)	Dry matter ratio (%)	Dry matter weight (kg/10a)	NFC ² (%)
Control plot (2.0g/m ²)	TK2	4.3	13.0	2.8	120	20.0	724	30.4
	TK2H-4th	4.5	12.8	4.3	117	20.8	804	31.0
Low sowing rate plot (0.6g/m ²)	TK2	3.8	12.8	2.3	123	20.2	683	31.3
	TK2H-4th	4.0	12.3	3.0	120	22.0	629	32.8
P value ⁶								
Sowing rate		0.025	0.152	0.216	0.121	0.003	0.011	0.047
Strain		0.213	0.152	0.121	0.121	<0.001	0.705	0.121
Sowing rate * Strain		1.000	0.614	0.582	0.893	0.015	0.075	0.431

1. At first heading stage.
2. Non fiber carbohydrate.
3. 1 means very poor and 9 means excellent.
4. Number of days from 1 May.
5. 1 means no lodging and 9 means completely lodged.
6. Probability of two-way ANOVA.

いては、「TK2H-3rd」は「TK2」よりも倒伏する傾向がみられた。また「TK2H-3rd」からさらに1世代選抜した「TK2H-4th」においても、「TK2」より倒伏する傾向であった。1番草刈り取り時における草丈に有意差はなかったが、「TK2H-3rd」および「TK2H-4th」は「TK2」に比べ、草姿が開帳気味であった。このことが倒伏に影響していると考えられる。倒伏防止のために播種量を2.0 g/m²とした2009年以降の試験においては、安定して乾物率に有意差がみられたことから、「TK2H-3rd」および「TK2H-4th」の高乾物率選抜系統は、「TK2」よりも乾物率が高いと推察された。二倍体イタリアンライグラス（藤原ら 1999）と同様に、四倍体についても乾物率で選抜できることが明らかとなった。

藤原ら（1999）は二倍体イタリアンライグラス品種「ワセユタカ」を3世代選抜することにより、2.6ポイント乾物率が向上したと報告している。藤原ら（1999）の選抜率は各世代で10-25%であり、乾物率の算出は最長茎1本の測定によるものである。本試験における乾物率選抜はBrix値も選抜指標に加えており、乾物率の個体評価の精度は藤原ら（1999）と同等以上と考えられる。本試験においては、同じく3世代の選抜を経ても1ポイント程度しか向上しなかったが、これは四倍体が二倍体よりも、同一遺伝子座における遺伝子のホモ化、あるいは集積が遅いためと考えられた。既存の二倍体早生品種・系統の1番草出穂期における乾物率は20~22%程度であることから（データ未公表）、本試験で用いた「TK2H-3rd」および「TK2H-4th」は二倍体と同程度の乾物率を既に獲得している。しかし、試験2の少量区や試験3の個体植え試験では22%まで乾物率が高まっており、乾物率選抜を重ね、さらに耐倒伏性を高めることで22%程度までは乾物率を高められる可能性がある。

飼料成分分析の結果から、「TK2H-3rd」は「TK2」よりもNFCが高かった。試験2において、「TK2H-4th」は「TK2」よりも少量区で、より乾物率が高まりやすかったこと、また有意ではないが、NFCも同様の傾向を示したことから、「TK2H-3rd」および「TK2H-4th」の高乾物率特性は、NFCの蓄積が関与していると考えられる。表1や試験3の結果が示すように、条播試験よりも個体間の競合が小さい個体植え試験においては、「TK2H-3rd」および「TK2H-4th」が、「TK2」よりも安定して高い乾物

率であったこともこれを支持する。Brix値と乾物率との間に相関関係がある（深沢ら 1999；久保田ら 2008）ことから、予想されたことである。なお、NFCの主成分は糖類であり、Brix値は水溶液中のショ糖濃度で定義されることから、アミノ酸や遊離脂肪酸を含むOrganic cellular contents (OCC)よりも、NFCの方が適切と考えOCCの値は省略したが、同様の傾向であった。

本試験の結果から、「TK2H-3rd」および「TK2H-4th」は母材である「TK2」と比べて、乾物率だけでなく耐雪性や収量性においても優れる傾向がみられるため、東北地域への導入が可能な早生の有望系統である。しかし、試験2の少量区においては、「TK2H-4th」および「TK2」ともに標準区に比べ乾物収量が少なかった。また播種量が3.0 g/m²であった2008年の試験に比べ、倒伏を予防するために2.0 g/m²とした2009年以降の乾物収量は少なかった。供試した圃場が異なり、気象条件も異なることから、単純に比較することはできないが、収量性を確保する観点からは播種量を少なくすることは望ましくない。実際の栽培において耐倒伏性は必須であり、本試験で育成した高乾物率系統には、耐倒伏性の改善が必要である。

引用文献

- 1) 有門博樹. 1964. 通気組織系の発達と作物の耐湿性との関係. 第13報 イタリアン・ライグラスとエン麦の耐湿性の差異. 日作紀 32: 353-357.
- 2) 藤原 健, 林 克江, 横畠吉彦, 小橋 健, 水野和彦. 1999. イタリアンライグラスの出穂期における乾物率の簡易選抜法と選抜効果. 平成11年度近畿中国農業研究成果情報: 407-408.
- 3) 深沢芳隆, 矢萩久嗣, 上山泰史. 1999. イタリアンライグラスにおける水溶性炭水化物含量の簡易選抜法とその選抜効果. 茨城県畜産試験場研究報告 28: 1-5.
- 4) 小林 真, 田瀬和浩, 江柄勝雄, 大山一夫, 石黒 潔, 永田 保. 1992. イタリアンライグラス新品種「ナガハヒカリ」の育成. 北陸農試報 34: 141-154.
- 5) 久保田明人, 米丸淳一, 上山泰史. 2008. 4倍

- 体ライグラスの乾物率における両側選抜と遺伝率. 日草誌 54 (別) : 224-225.
- 6) 森 哲郎, 小川和夫. 1967. 土壌の物理的要因と作物の生育に関する研究. 第1報 土壌の空気量・硬度と作物の生育. 東海近畿農試研報 16 : 77-104.
- 7) 農林水産省大臣官房統計部. 2007. 平成18年耕地及び作付面積統計. 東京. 農林水産省大臣官房統計部. p.134.
- 8) 岡部 俊. 1975. イタリアンライグラスの育種に関する基礎的研究—とくに耐雪多収性選抜に対する作物学的考察—. 北陸農試報 17 : 129-284.
- 9) 土屋 茂, 岡部 俊. 1962. 牧草類の耐雪性に関する研究. 日草誌 8 : 153.