

関東南部における土地の有効活用に基づいた自給飼料
生産方法に関する研究

Studies on Self-supplied Feed Production Method Based on
Efficient Utilization of Land in the Southern Kanto Region

2019 年

折原 健太郎

目 次

第1章 緒 論	1
1 研究の背景	1
2 既往の研究	2
2.1 土地生産性の高い飼料作物栽培体系	2
2.2 サイレージ品質の改善	3
2.3 省力的飼料作物栽培体系	3
2.4 耕作放棄地を利用した飼料作物の生産	4
2.5 家畜ふん堆肥の重金属特性	4
3 本研究の目的および構成	4
第2章 サイレージ用トウモロコシ (<i>Zea mays</i> L.) 二期の安定栽培方法	6
第1節 トウモロコシ二期作の品種の組み合わせ	7
1 目 的	7
2 材料と方法	7
3 結 果	9
4 考 察	17
第2節 トウモロコシ二期作の施肥方法	18
1 目 的	18
2 材料と方法	19
3 結 果	22
4 考 察	24
第3節 トウモロコシ二期作の土地生産性	30
1 目 的	30
2 材料と方法	30
3 結 果	31
4 考 察	31
第4節 小 括	33
第3章 登熟不足の夏播きトウモロコシ (<i>Zea mays</i> L.) のサイレージ調製のための収穫適期	35

1	目 的	35
2	材料と方法	35
3	結 果	37
4	考 察	45
	小 括	48
第4章	ソルガム類を活用したコントラクター等に適した省力的多収飼料生産技術	49
第1節	ソルガム新品種を活用したトウモロコシとソルガムの混播栽培方法	50
1	目 的	50
2	材料と方法	50
3	結 果	51
4	考 察	60
第2節	ソルガム新品種を活用したトウモロコシとソルガム混播の収量性	63
1	目 的	63
2	材料と方法	63
3	結 果	65
4	考 察	68
第3節	トウモロコシとソルガム混播の作業性	70
1	目 的	70
2	材料と方法	70
3	結 果	71
4	考 察	74
第4節	小 括	74
第5章	蹄耕法によるセンチピードグラス (<i>Eremochloa ophiuroides</i> (Munro) Hack.) 草地の造成期間中の植生と牧養力	76
1	目 的	76
2	材料と方法	77
3	結 果	78

4 考 察	84
小 括	88
第6章 家畜ふん堆肥の重金属含有量の特性	90
1 目 的	90
2 材料と方法	90
3 結 果	91
4 考 察	98
小 括	104
第7章 総合考察	105
第8章 摘 要	114
謝 辞	118
引用文献	119
Summary	127

第1章 緒 論

1 研究の背景

我が国の畜産における飼料費が畜産経営コストに占める割合は高く、粗飼料の給与が多いウシ (*Bos taurus*) では 40–50%、濃厚飼料が中心のブタ (*Sus scrofa domestica*) やニワトリ (*Gallus gallus domesticus*) では 60–70%を占めている。2016 年度における国内の全畜種に対する飼料給与量は、合計では 23,765 千 TDN トンであり、その割合は濃厚飼料が 79%、粗飼料が 21%であった。国内の飼料作付面積は、農家の高齢化や労働力の不足などにより、1990 年をピークに 2007 年まで減少傾向で推移したが、2006 年秋からの配合飼料価格の高騰を踏まえて飼料用米や稲発酵粗飼料の作付けが拡大したことから、2008 年以降は増加傾向で推移している。2016 年度の飼料作物付面積は 9,884 千 ha であり、作目別の割合は、牧草が 74.4%、トウモロコシ (*Zea mays* L.) が 9.4%、稲発酵粗飼料が 4.2%、ソルガム (*Sorghum bicolor* Moench) が 1.5%、飼料用米が 9.2%、その他が 1.3% であった。近年の飼料自給率は、粗飼料では気象条件の影響を受けながら 76–79%で推移し、濃厚飼料では飼料米やエコフィードの利用により 11%から 14%に微増していることから、全体では 25–28%と微増傾向で推移している。2016 年度の飼料自給率は、粗飼料では 78%、濃厚飼料では 14%であり、全体では 27% であった (農林水産省生産局畜産部飼料課 2017)。

このような状況の中で、農林水産省では飼料費の低減により酪農・肉用牛の生産基盤を強化するため、水田や耕作放棄地の有効利用等による飼料増産の推進、食品残渣等の未利用資源の利用拡大、飼料生産技術の向上、コントラクタや TMR センターによる飼料生産の効率化等を推進し、2025 年度の飼料自給率を 40% (粗飼料は 100%、濃厚飼料は 20%) まで向上する目標を定めている (農林水産省生産局畜産部飼料課 2017)。

関東南部に位置する神奈川県、千葉県、東京都および埼玉県における飼料作物作付面積は、1983年の12,841haをピークに、輸入粗飼料への依存や酪農家戸数の減少にともない年々減少しており、2016年には5,252haまで減少した（統計センター 2017）。主要な作物は、トウモロコシやソルガムの長大作物であり、イタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) 等のイネ科も栽培されている。

関東南部における酪農経営では、矮小な面積の圃場が点在し、区画整備による規模拡大が難しい条件の中で、土地生産性に優れた飼料作物の生産および省力的飼料作物の生産による単収の向上や作付面積の拡大、耕作放棄地の放牧利用等により自給飼料の増産、家畜排泄物の土地還元により経営の継続を目指している。

2 既往の研究

2. 1 土地生産性の高い飼料作物栽培体系

トウモロコシ二期作は、土地生産性に優れた飼料作付体系として、九州地方等の暖地で採用されてきた。関東南部におけるトウモロコシ二期作に関するこれまでの取り組みは、神奈川県で1970年代の中頃から1980年代のはじめにかけて導入が検討されている（井上ら 1980；井上ら 1981, 1982；江川ら 1981）。しかし、当時の気象条件では10℃基準の有効積算温度（以下、有効積算温度）がトウモロコシ二期作の栽培期間（4-11月）に必要とされる2,400℃（吉川・杉山 1984）に達せず、トウモロコシとイタリアンライグラスを組み合わせた二毛作と比較して土地生産性も低かったことから（井上ら 1982）、トウモロコシ二期作は当該地域の多収栽培としては採用されてこなかった。

一方、1994年以降の気象条件をみると、神奈川県畜産技術センターが所在する神奈川県海老名市では、1996年と2003年の2年間を除いて有効積算温度が2,400℃を超えており、トウモロコシ二期作が可能な気象条件となっている。こ

のような状況を背景として、関東南部ではトウモロコシ二期作の導入事例がみられるようになってきたものの、安定栽培の成立する条件が不明確であることが、トウモロコシ二期作導入の妨げとなっている。

2. 2 サイレージ品質の改善

関東地方におけるトウモロコシ二期作は、栽培限界地帯では冷涼年には登熟不足が懸念され、栽培適地であっても2作目の播種が遅れて収穫時に登熟不足となる事例も散見される（菅野ら 2011；菅野ら 2013；折原 2014）。登熟不足で高水分となった原料は、サイレージ品質の低下を招く原因となっている（野中 2014；大下ら 2005）。一方、ソルガムでは、晩秋から冬季にかけて、立毛貯蔵が行なわれており、立毛貯蔵中に被霜することで立枯れして水分含量、乾物収量および糖含量が減少することが報告されている（後藤ら 1985；Goto ら 1987；加藤ら 2008）。

2. 3 省力的で多収な飼料作物栽培体系

トウモロコシとソルガムの混播は、1回の播種で2回の収穫が可能な省力的で多収な飼料作物栽培技術として1980年代から各地で導入され、関東以西の温暖地および暖地の一般的な栽培体系として広く普及している。関東地方におけるトウモロコシとソルガムの混播では、早生から早中生品種のトウモロコシとソルゴー型または兼用型ソルガムを組み合わせた栽培方法が行われている（青木ら 2004；井上ら 1989；木原ら 1991；米本ら 2003）。

長野県で育成されたスーダン型ソルガム（*Sorghum bicolor* Moench × *S. sudanense* [Piper] Stapf.）新品種の峰風は、初期生育および再生性に優れた超多収品種で、スーダン型ソルガムとして数少ない乾性の特性を持つ（清沢 2015）。このため、トウモロコシとソルガム混播では、収穫時の水分が調整しやすく、トウモロコシとの混播での利用において高品質サイレージの生産が期待される。

2. 4 耕作放棄地の放牧利用

耕作放棄地の有効利用方法として、各地で黒毛和種繁殖雌牛の放牧利用の取り組みが広く行われている。耕作放棄地を継続して放牧利用すると、その野草を中心とした植生の生産量は経年的に低下するため、持続的な生産量の維持のためには牧草の導入が必要となる（小山 2003）。中国地方および関東地方の温暖地では、センチピードグラス（*Eremochloa ophiuroides* (Munro) Hack.）を蹄耕法により導入した場合、2-4年後にセンチピードグラスの優占する草地となることが報告されている（小山 2003；山本 2005；山本ら 2006）。

2. 5 家畜ふん堆肥の重金属含有量特性

飼料畑は家畜ふん尿の処理の場として利用されることもあり、必要量以上に家畜ふん堆肥等が施用されることも散見される。家畜ふん堆肥の重金属含有量については、豚ふん堆肥の亜鉛および銅について報告（磯部・関本 1990a, 1990b）があるが、その他の重金属や家畜ふん堆肥についての報告は少なく、とりわけコーデックス委員会（Codex Alimentarius Commission）で議論を呼んでいるカドミウム等の環境汚染重金属について公表されているデータは少ない。

3 本研究の目的および構成

本研究では、関東南部における土地の有効活用に基づいた自給飼料生産方法を開発するため、次の項目について検討して知見を得たのでここに報告する。

土地生産性に優れた飼料作物栽培体系の導入により、単収の向上を図るため、第2章においてサイレージ用トウモロコシ二期の安定栽培方法について検討した。自給飼料の利用拡大を目指してサイレージ品質の改善を図るため、第3章において登熟不足の夏播きトウモロコシのサイレージ調製のための収穫適期について検討した。省力的で多収な飼料作物栽培体系の導入により作付面積の拡大を図るため、第4章ではソルガム類を活用したコントラクタ等に適した省力

的多収飼料生産技術について検討した。耕作放棄地を利用した自給飼料生産を図るため、第 5 章において耕作放棄地を放牧利用するため、蹄耕法によるセンチピードグラス草地の造成期間中の植生と牧養力について検討した。循環型農業を推進するために家畜ふん堆肥の安全性を確保するため、第 6 章では家畜ふん堆肥の重金属含有量の特徴について検討した。

第2章 サイレージ用トウモロコシ (*Zea mays* L.) 二期の 安定栽培方法

従来、我が国の温暖地では、夏作物のトウモロコシ (*Zea mays* L.) と冬作物のイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) やムギ類を組み合わせた二毛作が、土地生産性を最大にする作付体系として採用されてきた。しかし、近年の温暖化の影響により、より土地生産性の高い作付体系としてこれまで九州地方等の暖地の作付体系と考えられてきたトウモロコシ二期作が、神奈川県等の関東地方においても先進的な畜産農家で試みられるようになってきている。

関東南部におけるトウモロコシ二期作に関するこれまでの取り組みとして、神奈川県では 1970 年代の中頃から 1980 年代のはじめにかけて導入が検討されている (井上ら 1980 ; 井上ら 1981, 1982 ; 江川ら 1981)。しかし、当時の気象条件では 10℃基準の有効積算温度 (以下、有効積算温度) がトウモロコシ二期作の栽培期間 (4-11 月) に必要とされる 2,400℃ (吉川・杉山 1984) に達せず、トウモロコシとイタリアンライグラスを組み合わせた二毛作と比較して土地生産性も低かったことから (井上ら 1982)、トウモロコシ二期作は当該地域の多収栽培としては採用されてこなかった。

一方、1994 年以降の気象条件をみると、神奈川県畜産技術センターが所在する神奈川県海老名市では、1996 年と 2003 年の 2 年間を除いて有効積算温度が 2,400℃を超えており、二期作が可能な気象条件となっている。このような状況を背景として、関東南部ではトウモロコシ二期作の導入事例がみられるようになってきたものの、安定栽培の成立する条件が不明確であることが、トウモロコシ二期作導入の妨げとなっている。

そこで、第 1 節では 1 作目、2 作目ともに黄熟期収穫が可能となる品種の組み合わせ、第 2 節では 2 作目に不耕起栽培を導入するための施肥方法、第 3 節で

は従来多収栽培とされていたトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作と収量を比較し、関東南部におけるトウモロコシ二期作の土地生産性について検証した。

第1節 トウモロコシ二期作の品種の組み合わせ

1 目的

関東南部では、先進的酪農家においてトウモロコシ二期作の導入事例がみられるようになってきたものの、収量やサイレージ品質等において情報の蓄積が少なく、安定栽培の成立を可能とする条件が不明確である。このことが、酪農家におけるトウモロコシ二期作導入の妨げとなっている。

そこで、本節では関東南部におけるトウモロコシ二期作の安定化のために、1作目、2作目ともに黄熟期収穫が可能となる品種の組み合わせ方法について検討した。

2 材料と方法

試験は、2009年から2011年まで神奈川県海老名市（神奈川県畜産技術センター）で実施した。1作目には極早生から早生品種のKD500（相対熟度（以下、RM）100）、LG3520（RM110）および34B39（RM115）の3品種、2作目には中生から極晩生品種の31P41（RM120）、NS813（RM125）、SH3817（RM125）、3470（RM127）および30D44（RM135）の5品種を供試した。ただし、2作目の31P41は2009年、3470は2010年、NS813は2011年には供試しなかった。

1作目は、2009年は4月6日、2010年は4月1日、4月8日、4月16日および4月21日、2011年は4月1日および4月27日にそれぞれ播種し、2009年は7月27日から29日、2010年は7月28日から8月11日、2011年は7月27日か

ら 8 月 11 日に黄熟期（ミルクライン 5）に達した時期を目安に収穫した。2 作目は、2009 年は 8 月 3 日、2010 年は 8 月 4 日、8 月 11 日および 8 月 18 日、2011 年は 8 月 2 日および 8 月 12 日に播種し、2009 年は 12 月 2 日、2010 年は 11 月 30 日から 12 月 10 日、2011 年は 11 月 21 日から 12 月 5 日にかけて黄熟期または以降に登熟が見込まれないと判断した時期に収穫した。ただし、2010 年の 8 月 4 日および 11 日に播種した 30D44 は、10 月 30 日に付近を通過した台風に伴う強風の影響により倒伏が激しかったため、糊熟期または乳熟期で 11 月 11 日に収穫した。

試験区は、1 区画を 3.2m×3.6m (11.52m²) とし、条間 80cm×株間 18cm (栽植密度 6,944 本/10a) で 2 粒ずつ播種して、トウモロコシの 4-6 葉期に間引きまたは補植して所定の栽培密度にした。配置は、乱塊法により 2009 年は 2 反復、2010 年および 2011 年は播種期ごとに 3 反復した。

施肥は、作付け前に牛ふん堆肥 7t/10a を施用し、播種時に硫安 48kg/10a (N10kg/10a) を施用した。除草剤はアトラジン・メトラクロール水和剤を標準使用量でトウモロコシの播種後に土壌散布した。

収量調査は、試験区の両側 2 条を除く中央 2 条を全て収穫し、試験区ごとに収穫した全個体を茎葉部と雌穂部に分別して新鮮重を測定後、5-6 個体を細断して 70°C で 48 時間乾燥して乾物重を測定した。

栽培期間の有効積算温度は、播種翌日から収穫日までの 10°C 基準の積算温度として算出した。

統計処理は、乾物率および乾物収量について、2009 年は一元配置分散分析法、2010-2011 年は品種および播種日を要因として二元配置分散分析法により検定した。分散分析で 5%水準の有意性が認められたとき、品種間の平均値の差を Tukey 法により検定した。二元配置分散分析において要因間に 5%水準の交互作用が認められた場合には、品種ごとに播種日間の平均値に関して Tukey 法によ

り検定した。また、品種ごとに 2009–2011 年の乾物率または乾物収量と有効積算温度の関係について、単回帰分析法により検定した。

3 結 果

試験期間中の作期ごとの有効積算温度（10℃基準）を表 2-1 に示した。試験期間中の有効積算温度は、2009 年では 1 作目の栽培期間（4–7 月）および 2 作目の栽培期間（8–11 月）ともに平年並みであったが、2010–2011 年では 1 作目は平年並み、2 作目は平年より高かった。試験を実施した 3 年間は、いずれもサイレージ用トウモロコシ二期作条件とされる年間の有効積算温度 2,400℃を 70–212℃上回った。各試験年ともに台風にとまなう強風により、2 作目のトウモロコシに倒伏等の被害がみられた。

2009–2011 年における乾物率および乾物収量の分散分析結果について表 2-2 に示した。乾物率は、2009 年では、1 作目は 4 月 6 日、2 作目は 8 月 3 日のみに播種したが、1 作目の乾物率に品種による差が認められた。2010 年では、1 作目 2 作目のいずれも品種および播種日による差が認められ、品種と播種日の交互作用も認められた。2011 年では、1 作目では、品種および品種と播種日の交互作用が認められた。2 作目では、品種および播種日による差は認められたが、品種と播種日の交互作用は認められなかった。乾物収量は、2010 年では、1 作目および 2 作目いずれも品種および播種日による差が認められたが、品種と播種日の交互作用は 1 作目のみ認められた。2011 年では、1 作目に品種および播種日による差が認められたが、品種と播種日の交互作用は認められなかった。2 作目では、品種および播種日による差も交互作用も認められなかった。

1 作目の試験結果を表 2-3 に示した。3 年間の試験を通して、1 作目は、KD500 は 4 月上・中旬の播種では 7 月下旬に、4 月下旬の播種では 8 月上旬に黄熟期となった。LG3520 および 34B39 は、4 月上旬の播種では 7 月下旬から 8 月上旬、

表2-1 作期ごとの有効積算温度.

試験年	1作目 (4/1-7/31)		2作目 (8/1-11/30)		合計 (4/1-11/30)	
	観測値	平年差	観測値	平年差	観測値	平年差
有効積算温度 (°C)						
2009	1,250	+18	1,220	-47	2,470	-29
2010	1,233	+1	1,333	+66	2,565	+66
2011	1,256	+24	1,356	+89	2,612	+113
平年 ¹	1,232		1,267		2,499	

¹平年は、1998-2008年の平均値.

表2-2 乾物率および乾物収量の分散分析¹⁾

要因\試験年・作期	乾物率						乾物収量					
	2009		2010		2011		2009		2010		2011	
	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目
品種	**	NS	*	**	**	**	NS	NS	**	**	**	NS
播種日	—	—	**	**	NS	**	—	—	**	**	**	NS
品種×播種日	—	—	**	**	**	NS	—	—	*	NS	NS	NS

¹⁾NSは5%水準で有意性がないことを，*は5%水準で，**は1%水準で有意性があることを示す。

表2-3 1作目トウモロコシの試験結果.

試験年	品種	相対熟度 ¹	播種日	収穫日 ²	有効積算温度 ³ (°C)	乾物率 (%)	乾物収量 (kg/10a)
2009	KD500	100	4/6	7/27	1,180	30.7 a	1,706
	LG3520	110	4/6	7/27	1,180	26.5 ab	1,747
	34B39	115	4/6	7/29	1,211	25.4 b	1,909
2010	KD500	100	4/1	7/28	1,178	34.4 a	2,232 a
			4/8	7/28	1,166	30.7 a	1,731 b
			4/16	7/28	1,145	30.9 a	1,766 b
			4/21	8/4	1,249	33.1 a	1,878 b
	LG3520	110	4/1	8/4	1,302	29.8 b	2,251 a
			4/8	8/4	1,289	29.3 b	2,180 a
			4/16	8/11	1,390	33.0 a	2,191 a
			4/21	8/11	1,371	34.3 a	2,559 a
	34B39	115	4/1	8/5	1,321	31.8 a	2,627 a
			4/8	8/5	1,308	29.5 a	2,193 a
			4/16	8/11	1,390	30.0 a	2,300 a
			4/21	8/11	1,371	29.9 a	2,164 a
	品種平均	KD500				32.3 a	1,902 a
		LG3520				31.6 ab	2,295 b
		34B39				30.3 b	2,321 b
播種日平均			4/1			32.0 a	2,370 a
			4/8			29.9 b	2,035 b
			4/16			31.3 ab	2,086 b
			4/21			32.5 a	2,200 ab
2011	KD500	100	4/1	7/27	1,195	34.0 a	1,992 a
			4/27	8/3	1,202	31.3 b	1,647 b
	LG3520	110	4/1	8/1	1,271	30.0 a	2,021 b
			4/27	8/11	1,348	31.2 a	1,966 b
	34B39	115	4/1	8/1	1,271	29.6 a	2,532 b
			4/27	8/11	1,348	30.6 a	2,032 b
	品種平均	KD500				32.7 a	1,820 b
		LG3520				30.6 b	1,994 ab
		34B39				30.1 b	2,282 a
	播種日平均			4/1			31.2
4/27						31.0	1,882 b

¹販売元の公表値.

²黄熟期に収穫した.

³播種翌日から収穫日までの10°C基準の積算温度.

⁴項目内で異なる符号を付したデータ間には5%水準で有意差がある.

4月中・下旬の播種では8月中旬に黄熟期となった。各品種が黄熟期到達に必要な有効積算温度は、KD500が $1,188 \pm 33^{\circ}\text{C}$ 、LG3520が $1,307 \pm 71^{\circ}\text{C}$ 、34B39が $1,317 \pm 61^{\circ}\text{C}$ であった。KD500は乾物率が高いが乾物収量が低く、4月1日播種は乾物収量が高かった。品種ごとに播種日を変えた処理では、KD500では、播種日が高い方が乾物率および乾物収量が高く、LG3520では、播種日が高い方が乾物率は高かったが、乾物収量に播種日による差はなく、34B39では、乾物率および乾物収量に播種日による差はなかった。

2作目の試験結果を表2-4に示した。31P41およびSH3817は、いずれの年も8月上旬の播種では11月下旬に黄熟期となった。30D44は、2009年および2011年は11月下旬から12月上旬に黄熟期となったが、2010年については、8月上旬の播種では台風による倒伏で早期に収穫したため、黄熟期には達しなかった。それぞれの栽培期間の有効積算温度は、 $1,019\text{--}1,316^{\circ}\text{C}$ であり、播種日が高い方が収穫時の登熟が進んだ。30D44およびSH3817は乾物収量が高く、播種日が高い方が乾物率および乾物収量が高い傾向であった。品種ごとに播種日を変えた処理では、NS813は播種日が高くなるほど乾物率が著しく低下した。

1作目および2作目の有効積算温度と乾物率および乾物収量の関係を図2-1および図2-2に示した。有効積算温度は、1作目では、LG3520に乾物率および乾物収量との間、34B39に乾物率との間にそれぞれ正の相関が認められた。2作目では、全ての品種に乾物率との間、31P41、SH3817およびNS813に乾物収量との間にそれぞれ正の相関が認められた。回帰式から推定した高品質サイレージの調製が可能な条件の乾物率28%（大下ら2005）となる各品種の有効積算温度は $1,130\text{--}1,340^{\circ}\text{C}$ であり、31P41、SH3817および30D44の3品種は $1,200^{\circ}\text{C}$ 以下であった。

表2-4 2作目トウモロコシの試験結果.

試験年	品種	相対熟度 ¹	播種日	収穫日 ²	有効積算温度 ³ (°C)	ミルクライン ⁴ /熟期	乾物率 (%)	乾物収量 (kg/10a)	
2009	NS813	125	8/3	12/2	1,176	2.5	26.3	1,563	
	SH3817	125	8/3	12/2	1,176	4.0	30.5	1,542	
	3470	127	8/3	12/2	1,176	2.5	26.3	1,062	
	30D44	135	8/3	12/2	1,176	3.0	29.3	969	
2010	31P41	120	8/4	11/30	1,258	4.3	31.6 a	1,379 a	
			8/11	11/30	1,138	0.3	27.8 a	1,083 a	
			8/18	12/10	1,019	乳熟期	21.6 b	489 b	
	NS813	125	8/4	11/30	1,258	1.0	25.5 a	1,525 a	
			8/11	12/6	1,151	糊熟期	24.1 b	1,344 a	
			8/18	12/10	1,019	乳熟期	21.3 c	521 b	
	SH3817	125	8/4	11/30	1,258	4.0	30.7 a	1,599 a	
			8/11	11/30	1,138	1.0	26.1 ab	1,421 a	
			8/18	12/10	1,019	乳熟期	22.0 b	929 b	
	30D44	135	8/4	11/11	1,125	糊熟期	28.6 a	1,609 a	
			8/11	11/11	1,104	乳熟期	25.0 b	1,332 ab	
			8/18	12/10	1,019	乳熟期	25.3 b	1,089 b	
	品種平均	31P41						27.0 a	984 a
		NS813						23.6 b	1,130 ab
		SH3817						26.3 a	1,316 b
		30D44						26.3 a	1,343 b
播種日平均	8/4						29.1 a	1,528 a	
	8/11						25.8 b	1,295 b	
	8/18						22.5 c	757 c	
2011	31P41	120	8/2	11/21	1,316	4.0	31.7 a	1,448 a	
			8/12	12/5	1,150	0.3	30.5 a	1,597 a	
	SH3817	125	8/2	11/21	1,316	3.0	28.6 a	1,619 a	
			8/12	12/5	1,150	0.3	25.8 b	1,563 a	
	3470	127	8/2	11/21	1,316	3.0	29.6 a	1,500 a	
			8/12	12/5	1,150	糊熟期	26.7 b	1,286 a	
	30D44	135	8/2	11/21	1,316	3.7	34.1 a	1,569 a	
			8/12	12/5	1,150	0.7	30.1 b	1,466 a	
	品種平均	31P41						31.1 a	1,523
		SH3817						27.2 b	1,592
3470							28.1 b	1,393	
30D44							32.1 a	1,518	
播種日平均	8/2						31.0 a	1,534	
	8/12						28.2 b	1,478	

¹販売元の公表値.

²2010年は、30D44の8月4日および11日播種区は、大風被害のため登熟の過程で収穫.

³播種翌日から収穫日までの10°C基準の積算温度.

⁴ミルクラインが記載されている場合には黄熟期に達しており、熟度が進むほど値は大きくなる.

⁵項目内で異なる符号を付したデータ間には5%水準で有意差がある.

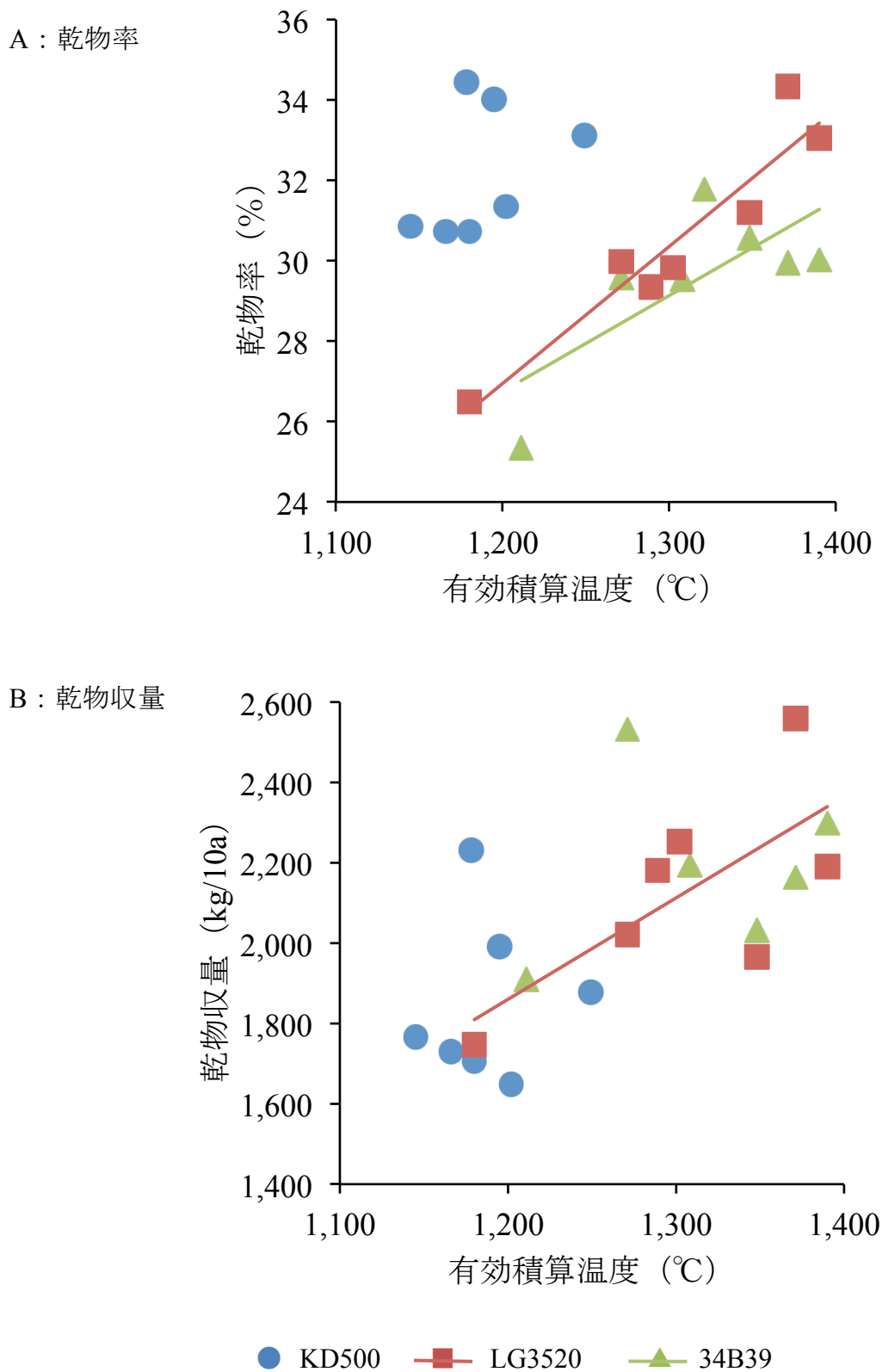
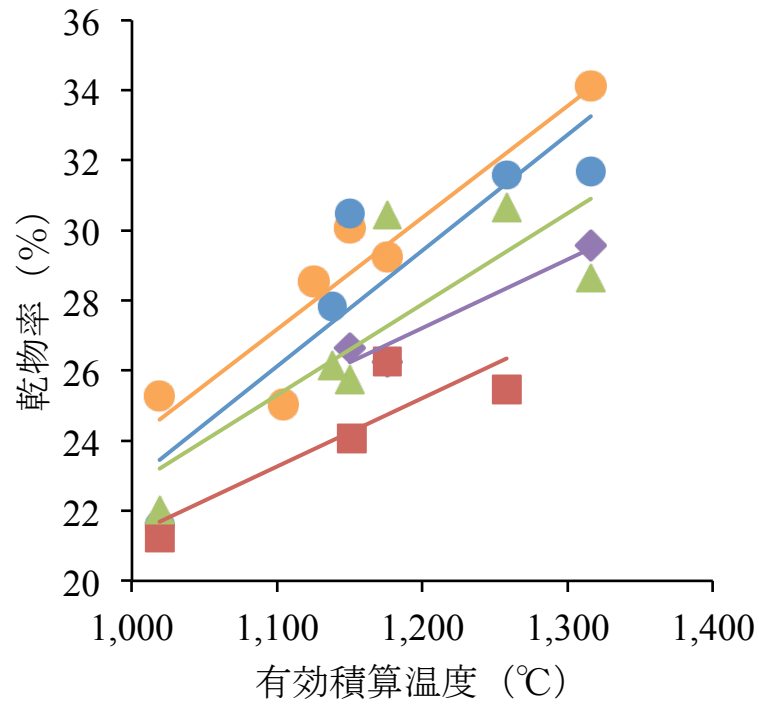


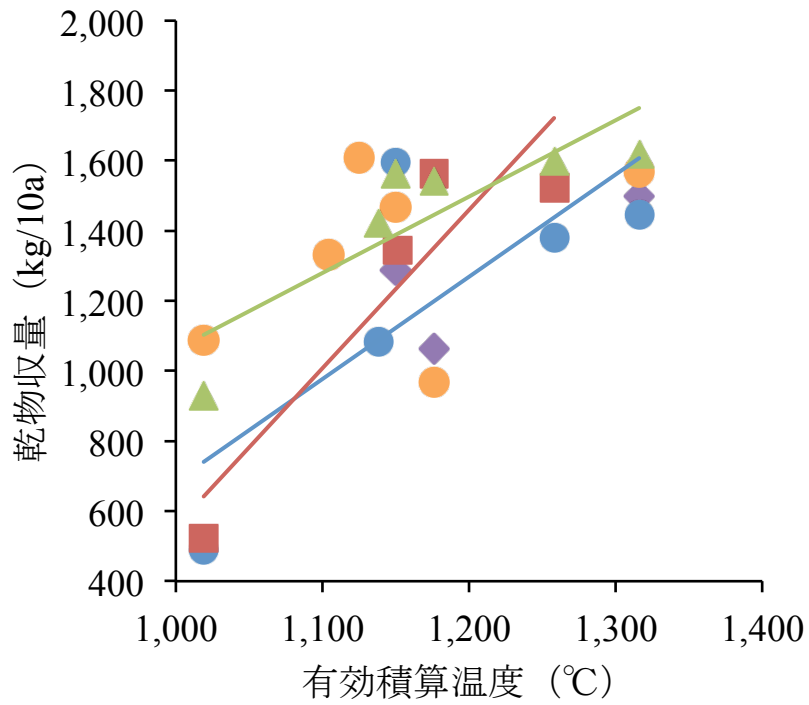
図2-1 1作目トウモロコシの有効積算温度と乾物率および乾物収量との関係。

有効積算温度は、10℃基準で播種翌日から収穫日までの日平均気温の積算温度。回帰直線は、有意な相関関係あり。

A : 乾物率



B : 乾物収量



● 31P41 ■ NS813 ▲ SH3817 ◆ 3470 ● 30D44

図2-2 2作目トウモロコシの有効積算温度と乾物率および乾物収量との関係。

有効積算温度は、10℃基準で播種翌日から収穫日までの日平均気温の積算温度。回帰直線は、有意な相関関係あり。

4 考 察

トウモロコシ生育の最低気温は、日平均で10°C以上とされるため(戸澤 2005)、関東南部でのトウモロコシ栽培期間の目安は4月上旬から11月下旬までとなる。関東南部でのウモロコシ二期作は、2作目トウモロコシの収量や登熟不足等が課題となっており、夏期の高温時に2作目の栽培期間を確保するため、1作目には7月下旬に収穫が可能となる品種を選択することが必要となる。

本研究では、RM100-115の品種を4月上旬に播種することにより、7月下旬から8月上旬に黄熟期で収穫することが可能であった。RM100のKD500は黄熟期到達に必要とする有効積算温度が他の品種より低く、4月中旬までに播種すると7月下旬に収穫期となった。RM110のLG3520およびRM115の34B39は、4月上旬に播種すれば7月下旬から8月上旬に収穫期となったが、LG3520の方が若干収穫期は早かった。このようにRM100の品種を4月上旬に播種すると、2作目の播種作業に余裕を持てる時期に収穫できることが示された。

以前からトウモロコシ二期作が行われている九州地域では、一般的には1作目にはRM110以上の早生から中生品種が利用されている(小林ら 2007; 原田ら 2009; 加藤ら 2011)。しかし、加藤ら(2011)は、九州中北部では早生から中生品種を利用した場合、1作目の収穫期が遅くなることにより2作目の播種が遅れ収量が低下することから、1作目にはRM110以下の極早生品種の利用を提案しており、関東南部でも同様に1作目には7月下旬に収穫が可能なRM100の極早生品種の利用が適していると考えられた。

一方、2作目について、菅野ら(2013)は、関東中北部の8月上旬から11月中旬までの有効積算温度が1,200°Cを確保できる地帯をサイレージ用トウモロコシ二期作限界地帯としている。また、サイレージ調製に適する乾物率は25-35%である(戸澤 2005)ことにあわせて、2作目には有効積算温度が1,200°C以上で乾物率が25%以上となる品種を選択する栽培方法を提案している。本研究でも

この条件を基準として2作目に最適な品種について検討したところ、RM120-135の品種を8月上旬に播種すれば、11月下旬から12月上旬に黄熟期に収穫することが可能であった。トウモロコシを乾物率28%以上となる黄熟期で収穫することにより、サイレージ調製時の排汁の発生を抑制して高品質サイレージの調製が可能となる（大下ら 2005）が、本研究では有効積算温度が1,200°Cの条件でRM120-135の3品種が乾物率28%以上となった。また、乾物収量はRM125以上の品種が多収な傾向であったことから、2作目には有効積算温度1,200°Cで乾物率が28%となるRM125-135の中生から極晩生品種の利用が適していると考えられた。

以上の結果から、関東南部におけるトウモロコシ二期作は、1作目にRM100の品種を4月上旬に播種して7月下旬に収穫し、2作目に有効積算温度が1,200°Cで乾物率が28%となるRM125-135の品種を8月上旬に播種して11月下旬から12月上旬に収穫することにより、1作目、2作目ともに黄熟期で収穫でき、安定栽培が可能になることが明らかになった。

第2節 トウモロコシ二期作の施肥方法

1 目 的

関東南部では、トウモロコシの栽培には堆肥を施用することが一般的である。堆肥を有効に利用することは、化学肥料の減量による費用の節約に加えて、都市型畜産における最も重要な課題の一つであるふん尿処理の観点からも酪農経営の継続のため有効な対策である。

トウモロコシ二期作では、1作目の収穫から2作目の播種までの期間が極めて短いため、九州地方等の先進地のコントラクターでは、2作目に不耕起栽培を導入している事例が見受けられる（原田ら 2009, 加藤 2011）。最近、小型の不耕

起対応播種機が開発されたことから（橘ら 2014a, 2014b）、矮小な面積の圃場が点在する関東南部においても、2 作目に不耕起栽培の導入が見込まれている（折原 2014）。しかし、不耕起栽培では、施用した堆肥を耕うんしないため、臭気等の環境問題の原因となることから堆肥の施用ができなくなる。

そこで、本節では 2 作目に不耕起栽培を導入するための堆肥および化学肥料の施用方法について検討した。

2 材料と方法

試験は、2010 年から 2011 年まで神奈川県海老名市（神奈川県畜産技術センター）で実施した。

施肥量および施肥方法は、表 2-5 に示した。2010 年では、神奈川県作物別施肥基準（神奈川県環境農政部農業振興課 2010）に準じて、作付けごとに堆肥を 4t/10a を基準として、小規模試験では牛ふん堆肥、実規模試験では牛ふん主体の家畜ふん堆肥をそれぞれ試験区 I および II では 1 作目作付け前に年間合計の施用量の 8t/10a、試験区 III では作付けごとに 4t/10a をそれぞれ施用した。化学肥料は、試験区 I および II では、1 作目は播種時に硫安 48kg/10a（N10kg/10a）、2 作目は試験区 I では化成肥料を 100kg/10a（窒素、リン酸、カリ各 14kg/10a）、試験区 II では硫安 48kg/10a（窒素 10kg/10a）をそれぞれ播種時に施用した。試験区 III では、1 作目、2 作目それぞれ播種時に硫安 48kg/10a（窒素 10kg/10a）を施用した。

2010 年は 1 作目には LG3520（RM110）、2 作目には NS813（RM125）および SH3718（RM125）、2011 年は 1 作目には 34N84（RM108）、2 作目には 30D44（RM135）および SH3817（RM125）を供試し、表 2-6 に示した通り組み合わせた。

試験区は、小規模試験では、1 区画を 3.2m×3.6m（11.52m²）とし、条間 80cm×株間 18cm（栽植密度 6,944 本/10a）で 2 粒ずつ播種して、トウモロコシの 4-

表2-5 施肥量および施肥方法.

試験年	試験区 ¹	1作目				2作目				年間合計			
		堆肥 ² (t/10a)	化学肥料 ³ (kg/10a)		堆肥 ² (t/10a)	化学肥料 ³ (kg/10a)		堆肥 (t/10a)	化学肥料 (kg/10a)				
			窒素	リン酸		カリ	窒素		リン酸	カリ	窒素	リン酸	カリ
2010	I	8	10	0	0	0	14	14	14	8	24	14	14
	II	8	10	0	0	0	10	0	0	8	20	0	0
	III	4	10	0	0	4	10	0	0	8	20	0	0
2011	I	8	10	0	0	0	14	14	14	8	24	14	14
	II	8	10	0	0	0	10	0	0	8	20	0	0
	IV	4	10	0	0	0	14	14	14	4	24	14	14
	V	4	10	0	0	0	10	0	0	4	20	0	0

¹2010年は小規模試験, 実模試験共通, 2011年は小規模試験では全て実施, 実規模試験では I および II のみ実施した.

²小規模試験では牛ふん堆肥, 実規模試験では牛ふん主体の家畜ふん堆肥を施用した.

³全量基肥で施用した.

表2-6 組み合わせ品種.

試験年	区分	1作目		2作目	
		品種	相対熟度 ¹	品種	相対熟度 ¹
2010	A	LG3520	110	NS813	125
	B	LG3520	110	SH3817	125
2011	C	34N84	108	30D44	135
	D	LG3520	110	SH3817	125

¹販売元の公表値.

6 葉期に間引きまたは補植して所定の栽培密度にした。配置は、乱塊法により 2009 年は 2 反復、2010 年および 2011 年は播種期ごとに 3 反復した。

実規模試験では、40a および 60a の圃場において、15–20a ごとに区分して、それぞれ各試験区として実施した。1 作目は、堆肥施用後にプラウおよびロータリで耕うんして播種機（JS2105、タカキタ、三重）で播種した。2 作目は、堆肥を施用した場合には、1 作目と同様に堆肥の施用後に耕うんして播種し、堆肥を施用しない場合には、耕うんせずに肥料散布機（DS-100MT、タイショー、茨城）を増設した不耕起播種機（PFLT275A、みのる産業、岡山）で播種した。2011 年は、1 作目は 2010 年と同様に堆肥を施用後に耕うんして播種した。2 作目は堆肥を施用しなかったが、2010 年と同様に耕起または不耕起で播種した。

収量調査は、小規模試験では、試験区の両側 2 条を除く中央 2 条の全個体を、実規模試験では試験区ごとに任意の 3 ヶ所について刈取高 10cm で畦の長さ 3m を収穫した。収穫した全個体を茎葉部と雌穂部に分別して新鮮重を測定後の 5–6 個体を細断して 70℃で 48 時間乾燥して乾物重を測定した。

統計処理は、乾物収量について、施肥方法および品種を要因として二元配置分散分析法により検定した。分散分析で 5%水準の有意性が認められたとき、品種間の平均値の差を Tukey 法により検定した。2011 年の小規模試験では、乾物収量について、堆肥の施用量を要因として t 検定により検定した。

3 結 果

2010–2011 年における乾物収量の分散分析結果について表 2-7 に示した。2010 年は、小規模試験では 2 作目および合計の乾物収量に施肥方法による差が認められた。実規模試験では、2 作目および合計の乾物収量に品種による差が認められた。2011 年は、小規模試験では、2 作目の乾物収量に品種による差が認められたが、実規模試験では施肥方法および品種による差は認められなかった。

表2-7 乾物収量の分散分析¹.

要因	小規模試験						実規模試験					
	2010		2011		2010		2011		2010		2011	
	1作目	2作目	合計	1作目	2作目	合計	1作目	2作目	合計	1作目	2作目	合計
施肥方法	NS	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
品種	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS	**	*	NS	NS
交互作用	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹NSは5%水準で有意性がないことを，*は5%水準で，**は1%水準で有意性があることを示す．

2010年および2011年の試験結果を表2-8および表2-9に示した。2010年は、小規模試験では、作付けごとに堆肥を施用した試験区Ⅲの乾物収量が最も多収となり、年間に施用する堆肥を1作目の作付け前にまとめて施用し、2作目には化成肥料を施用した試験区Ⅰは、試験区Ⅲより低収であった。年間の堆肥を1作目の作付け前にとめて施用した試験区ⅠおよびⅡでは、2作目に硫安を施用した試験区Ⅱの方が、乾物収量が多収な傾向であった。実規模試験では、施肥方法による有意な差はなかったが、試験区Ⅲは試験区Ⅱより2作目および年間の乾物収量は低収な傾向であった。品種では、1作目では差はなかったが、2作目はSH3817の方がNS813より多収となり、年間合計では、LG3520とSH3817を組み合わせの方が多収となった。

2011年は、小規模試験において、2作目品種では30D44の方がSH3817より多収となった。実規模試験では、施肥方法および品種間に差は認められなかった。

小規模試験における、堆肥施用量により区分した結果を表2-10に示した。1作目に堆肥8t/10a施用（試験区ⅠおよびⅡ）では、4t/10a（試験区ⅣおよびⅤ）より1作目および年間の乾物収量が多収となった。

4 考 察

神奈川県では、トウモロコシの施肥方法として、堆肥4t/10aを施用した場合には化学肥料として窒素10kg/10a、または堆肥1t/10a以下の場合には化学肥料として窒素、リン酸およびカリを各15kg/10a施用する肥料施用基準を定めている（神奈川県環境農政部農業振興課2010）。

2010年は、堆肥の施用方法として、年間に施用する堆肥を作付けごとに施用する場合と年間の施用量を1作目の作付け時にまとめて施用する場合について比較した。小規模試験では、肥料施用基準に準じた作付けごとに堆肥を施用す

表2-8 2010年の試験結果.

区分	施肥方法	品種	播種日		収穫日		耕種方法		収穫ステージ		乾物収量 (kg/10a)		
			1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	合計
小規模	I	A	4/1	8/3	8/2	12/1	耕起	耕起	黄熟期	糊熟期	2,260	1,152	3,412
		B	4/1	8/3	8/2	12/1	耕起	耕起	黄熟期	黄熟期	2,415	1,071	3,486
	II	A	4/1	8/3	8/2	12/1	耕起	耕起	黄熟期	糊熟期	2,365	1,352	3,718
		B	4/1	8/3	8/2	12/1	耕起	耕起	黄熟期	黄熟期	2,322	1,242	3,564
	III	A	4/1	8/3	8/2	12/1	耕起	耕起	黄熟期	糊熟期	2,602	1,535	4,137
		B	4/1	8/3	8/2	12/1	耕起	耕起	黄熟期	黄熟期	2,436	1,472	3,908
施肥方法平均			I							2,338	1,112 a	3,449 a	
			II							2,344	1,297 ab	3,641 ab	
			III							2,519	1,503 b	4,022 b	
品種平均			A							2,409	1,346	3,756	
			B							2,391	1,261	3,652	
実規模	I	A	4/1	8/3	7/26	11/24	耕起	不耕起	黄熟期	乳熟期	2,001	936	2,937
		B	4/1	8/3	7/26	11/24	耕起	不耕起	黄熟期	糊熟期	2,001	1,354	3,354
	II	A	4/1	8/3	7/26	11/24	耕起	不耕起	黄熟期	乳熟期	2,001	1,184	3,185
		B	4/1	8/3	7/26	11/24	耕起	不耕起	黄熟期	糊熟期	2,001	1,320	3,320
	III	A	4/1	8/12	7/26	12/8	耕起	耕起	黄熟期	乳熟期	1,885	855	2,740
		B	4/1	8/12	7/26	12/8	耕起	耕起	黄熟期	糊熟期	1,885	1,228	3,113
施肥方法平均			I							2,001	1,145	3,145	
			II							2,001	1,252	3,253	
			III							1,885	1,042	2,927	
品種平均			A							1,962	992 a	2,954 a	
			B							1,962	1,300 b	3,263 b	

1) 項目内で異なる符号を付したデータ間には5%水準で有意差がある。

表2-9 2011年の試験結果.

区分	施肥方法	品種	播種日		収穫日		耕種方法		収穫ステージ		乾物収量 (kg/10a)		
			1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	1作目	2作目	合計
小規模	I	C	4/1	8/2	7/28	11/28	耕起	耕起	黄熟期	黄熟期	2,038	1,545	3,582
		D			11/24				黄熟期	黄熟期	2,166	1,392	3,558
	II	C	4/1	8/2	7/28	11/28	耕起	耕起	黄熟期	黄熟期	2,041	1,564	3,605
		D			11/24				黄熟期	黄熟期	2,174	1,327	3,501
	IV	C	4/1	8/2	7/28	11/28	耕起	耕起	黄熟期	黄熟期	1,893	1,440	3,333
		D			11/24				黄熟期	黄熟期	2,070	1,205	3,275
	V	C	4/1	8/2	7/28	11/28	耕起	耕起	黄熟期	黄熟期	1,916	1,498	3,414
		D			11/24				黄熟期	黄熟期	1,985	1,249	3,234
	施肥方法平均										2,102	1,468	3,570
			II								2,108	1,446	3,553
		IV								1,981	1,322	3,304	
		V								1,950	1,373	3,324	
品種平均										1,972	1,512 b	3,484	
		D								2,099	1,293 a	3,392	
実規模	I	C	4/1	8/5	7/29	11/30	耕起	不耕起	黄熟期	糊熟期	2175	1,670	3,845
		D	3/29	8/9	7/27	12/6	耕起	耕起	黄熟期	糊熟期	1,819	1,525	3,344
	II	C	4/1	8/5	7/29	11/30	耕起	不耕起	黄熟期	糊熟期	2175	1,941	4,116
		D	3/29	8/9	7/27	12/6	耕起	耕起	黄熟期	糊熟期	1,819	1,548	3,367
施肥方法平均										1,997	1,598	3,595	
		II								1,997	1,744	3,742	
品種平均										2,175	1,806	3,981	
		D								1,819	1,536	3,356	

1) 項目内で異なる符号を付したデータ間には5%水準で有意差がある。

表2-10 堆肥施用量による比較.

堆肥施用量 ¹	乾物収量 (kg/10a)		
	1作目	2作目	合計
8t/10a	2,105	1,457	3,561
4t/10a	1,966	1,348	3,314
t検定 ²	*	NS	**

¹8t/10aは2011年の試験区 I および II, 4t/10aは試験区IVおよびV.

²NSは5%水準で有意性がないことを, *は5%水準で, **は1%水準で有意性があることを示す.

る施肥方法が、年間の施用量をまとめて 1 作目の作付け時施用するより、乾物収量が多収となった。一方、実規模試験では、小規模試験とは反対に堆肥を作付けごとに施用した方が乾物収量は低収な傾向であった。

小規模試験では、堆肥を作付けごとに施用した方が多収であったが、実規模試験では小規模試験の結果と異なり低収となった。小規模試験と実規模試験の結果がこととなった原因として、小規模試験では、小面積であるため 1 作目を 8 月 2 日に収穫しても、耕起作業に時間がかからないため、8 月 3 日に 2 作目の播種が実施できた。一方、実規模試験では、作付けごとに堆肥を施用した試験区Ⅲでは、7 月 26 日に 1 作目を収穫したが、2 作目の堆肥を施用するため堆肥の散布と耕うん等の作業を実施したため、2 作目の播種は 8 月 12 日となった。年間に施用する堆肥を 1 作目の作付け前にまとめて施用した試験区ⅠおよびⅡでは、1 作目の収穫は 7 月 26 日で同時に実施したが、不耕起播種したため、堆肥の散布や耕うんの作業を省略することが可能となり、2 作目の播種は 8 月 3 日と耕起播種するより 9 日間早く播種することができた。

小規模試験では、作付けごとに堆肥を施用した方が乾物収量は多収となったことから、堆肥はまとめて施用するよりも作付けごとに施用する施肥方法の方が多収になると考えられるが、関東南部におけるトウモロコシ二期作では、2 作目の播種が遅れた場合には、栽培期間の有効積算温度が減少することによって乾物収量も減少することから、実規模試験の結果からは、生産現場では、不耕起播種して播種を早めるため、堆肥を 1 作目の作付け前に年間施用量をまとめて施用する方法が有効であると考えられた。

2011 年は、小規模試験では、堆肥を 1 作目の作付け前にまとめて施用した場合について、堆肥の施用量および 2 作目の化学肥料の施肥方法について比較したところ、施肥方法により乾物収量に有意差は認められなかった。そこで、堆肥の施用量を比較したところ、堆肥を 8t/10a 施用した方が 4t/10a 施用した方よ

り多収であった。

2010年および2011年の試験結果から、トウモロコシ二期作における堆肥の施用方法は、作付けごとに神奈川県が定める施用基準（神奈川県環境農政部農業振興課 2010）の4t/10aを施用することが収量を高めるために有効であるが、その場合年間の施用量を1作目の作付け前にまとめて施用することは有効であると考えられた。

2作目に施用する化学肥料について比較したところ、2作目に施用した肥料成分は、化成肥料の方が硫安より窒素で4kg/10a、リン酸およびカリでそれぞれ14kg/10a多かったが、2010年小規模試験では硫安の方が化成肥料より2作目および合計の乾物収量は多収な傾向であり、2011年の実規模試験、2011年の小規模試験および実規模試験では差は認められなかった。本研究では、土壌の分析は実施しなかったため、施用した肥料養分により収量に差がなかった原因については不明であるが、1作目に堆肥が施用される条件では、土壌中の肥料養分が十分であるため、即効性のある硫安が初期生育に有効であったことが要因の一つとして推測された。

生産現場では、2作目に施用する化学肥料は、乾物収量は化成肥料と硫安の間に差はなく、10a当りの費用は、化成肥料8,500円（1,700円/20kg×100kg）に対し硫安では2,160円（900円/20kg×48kg）であり、硫安の方が費用は6,340円削減できるため、2作目には硫安を施用することが有効であると考えられた。

以上のことから、関東南部におけるサイレージ用トウモロコシ二期作の施肥方法は、1作目の作付け前に年間の堆肥施用量である8t/10aを施用し、1作目には耕起して硫安48kg/10a、2作目には不耕起播種して硫安48kg/10a施用する施肥方法が有効であると考えられた。

第3節 トウモロコシ二期作の土地生産性

1 目 的

関東南部では、1980–1990年代頃までは、トウモロコシ二期作に必要な気象条件とならず、トウモロコシ二期作はトウモロコシとイタリアンライグラスを組み合わせた二毛作より生産性が低かったことから（井上ら 1982）、土地生産性に優れる飼料作物生産体系は、トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作であるとされてきた。

一方、近年の温暖化の影響により、九州地方等の暖地において土地生産性に優れるトウモロコシ二期作が、関東南部でも取り組まれるようになり、第1節および第2節において安定栽培方法が明らかとなった。

そこで、本節では関東南部におけるトウモロコシ二期作の土地生産性について検討するため、トウモロコシ二期作とトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作との収量性について比較した。

2 材料と方法

トウモロコシ二期作では、第1節における最適な組み合わせとして示された、1作目はKD500 (RM100)、2作目は8月上旬に播種したSH3817 (RM125) および30D44 (RM135) の収量を利用した。トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作では、トウモロコシは、2009–2011年に神奈川県畜産技術センターで実施したトウモロコシ品種比較試験（折原ら 2010, 2011a, 2012a）における早生から中生の神奈川県奨励品種であるセシリア (RM115), 34B39 (RM115), SH4681 (RM115), KD670 (RM117), ZX4101 (RM118), DKC61-24 (RM118), ZX7605 (RM120) およびSH3817 (RM125) の8品種の収量を利用した。イタリアンライグラスは、2009–2011年に神奈川県畜産技術センターで実施した、温暖地向き

高糖分・高 TDN 含量イタリアンライグラス品種の育成におけるイタリアンライグラスの関東南部での適応性評価から、神奈川県奨励品種のタチワセ（早生）の 1 番草の収量を利用した（折原ら 2011b, 2012b）。

可消化養分総量（TDN, total digestible nutrients）収量は、トウモロコシは新得式の推定式 $TDN = \text{茎葉乾物重} \times 0.582 + \text{雌穂乾物重} \times 0.85$ （大槻 2001）、イタリアンライグラスは日本標準飼料成分表 2009 年版（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）に準拠して（1 番草・乾草、62.2%）求めた。

3 結 果

トウモロコシ二期作とトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作の乾物収量および TDN 収量を表 2-11 に示した。トウモロコシ二期作では、乾物収量および TDN 収量の平均値は、1 作目が 1,893 kg/10a および 1,392kg/10a, 2 作目が 1,484 kg/10a および 1,051kg/10a であり、それぞれの合計は 3,378 kg/10a および 2,443kg/10a であった。トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作では、乾物収量および TDN 収量の平均値は、トウモロコシが 1,900 kg/10a および 1,322kg/10a, イタリアンライグラスが 870kg/10a および 541kg/10a であり、それぞれの合計は 2,770kg/10a および 1,863kg/10a であった。トウモロコシ二期作では、トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作より乾物収量は 18%, TDN 収量は 26%多収であった。

4 考 察

関東南部では、トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作は、イタリアンライグラスの収穫期の天候が不順であるため、収穫遅れや予乾中の降雨により、サイレージ品質が安定しないこと、機械装備がトウモロコシと牧草の両方が必要なこと等から、イタリアンライグラスを作付けせず、サイレージ用トウ

表2-11 トウモロコシ二期作とトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作の収量性の比較.

実施年	二期作			二毛作		
	1作目	2作目	合計	トウモロコシ	イタリアンライグラス ¹	合計
乾物収量 (kg/10a)						
2009	1,706	1,256		1,729	0	
2010	1,981	1,604		2,067	784	
2011	1,992	1,594		1,905	956	
平均	1,893	1,484	3,378	1,900	870	2,770
TDN収量 (kg/10a)						
2009	1,203	875		1,193	0	
2010	1,574	1,135		1,437	488	
2011	1,399	1,144		1,337	594	
平均	1,392	1,051	2,443	1,322	541	1,863

¹イタリアンライグラスの実施年は収穫年.

モロコシ単作の作付体系が増加している。

本研究では、最適な組み合わせの関東南部のトウモロコシ二期作の年間合計の収量は、トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作と比較して、乾物収量では 18%、TDN 収量では 26%多収であり、九州中北部のトウモロコシ二期作の乾物収量 3,430–3,455kg/10a（加藤ら 2011）と同程度であった。これらのことから、トウモロコシ二期作は、関東南部においても多収な栽培体系であると考えられた。

また、トウモロコシ二期作は多収なことに加えて、播種および収穫に必要な機械装備がトウモロコシ用のみでよいため、トウモロコシ用と牧草用の 2 種類の機械装備が必要なトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作と比べ、機械費が低減され、また作業機の稼働率も向上すると考えられる。すなわち、自給飼料の生産費の中で多くの割合を占める機械購入費や修理費等の費用を削減できるメリットを持つと考えられる。

第 4 節 小 括

土地生産性の高い飼料作物栽培方法として、サイレージ用トウモロコシ二期作について検討した。関東南部におけるトウモロコシ二期作は、1 作目に RM100 の品種を 4 月上旬に播種して 7 月下旬に収穫し、2 作目に有効積算温度が 1,200°C で乾物率が 28%となる RM125-135 の品種を 8 月上旬に播種して 11 月下旬から 12 月上旬に収穫することにより、1 作目、2 作目ともに黄熟期で収穫でき、安定栽培が可能になることが明らかになった。安定栽培のため、2 作目には不耕起栽培を導入することが有効であり、そのための施肥方法として、1 作目の作付け前に年間の堆肥施用量である 8t/10a を施用し、1 作目には耕起して硫安 48kg/10a、2 作目には不耕起播種して硫安 48kg/10a 施用する施肥方法が適することを示し

た。関東南部におけるトウモロコシ二期作の年間収量は、乾物収量では 3,378 kg/10a, TDN 収量では 2,443kg/10a であり、トウモロコシとイタリアンライグラスと比較して、乾物収量では 18%, TDN 収量では 26%多収であり、土地生産性の高い飼料作物栽培体系である。

第3章 登熟不足の夏播きトウモロコシ (*Zea mays* L.) の サイレージ調製のための収穫適期

1 目 的

サイレージ用トウモロコシ (*Zea mays* L.) 二期作は、多収な作付体系として九州地方等の暖地で導入されていたが、近年の温暖化により関東地方等の温暖地でも導入されている。関東地方におけるトウモロコシ二期作は、神奈川県や千葉県（房総半島）の沿岸部が栽培適地、関東平野の中部および沿岸部以外の房総半島が栽培限界地帯である（菅野ら 2013）。栽培適地および栽培限界地帯ともに、2作目を8月上旬に播種することで黄熟期での収穫が可能であるが、栽培限界地帯では冷涼年には登熟不足が懸念され、栽培適地であっても1作目の収穫から2作目の播種までの期間が短期間であるため、天候や共同作業の都合により、2作目の播種が遅れて収穫時に登熟不足となる事例も散見される（菅野ら 2011；菅野ら 2013；折原 2014）。トウモロコシが登熟不足となった場合、収量の減少に加えて高水分となり、サイレージ品質の低下を招く原因となる（大下ら 2005；野中 2014）。

そこで、本章ではトウモロコシ二期作において、2作目の播種が遅れたため、収穫時に登熟不足となった場合の夏播きトウモロコシのサイレージ品質を調査するとともに、立毛貯蔵によりその品質改善を図るための収穫適期について検討した。

2 材料と方法

試験は、2012年に神奈川県海老名市（神奈川県畜産技術センター）で実施した。試験地の年間の平均気温および降水量の平年値は、15.3℃および1,730mmであり、例年は11月下旬から12月上旬に初霜が観察される。また、1994年以

降の気象条件をみると、1996年と2003年の2年間を除いて10°C基準の有効積算温度がトウモロコシ二期作に必要な条件とされている2,400°Cを超えており（吉川・杉山 1984）、関東地方におけるトウモロコシ二期作の栽培適地である。一方、本試験で播種した8月中旬から2作目トウモロコシの収穫期の11月下旬までの平年の有効積算温度は1,000°C程度であり、黄熟期で収穫できる1,200°Cを下回っていることから、収穫期には登熟不足が見込まれる。試験実施圃場の土壌は、黒ボク土であり排水は良好であった。

2012年8月18日に、サイレージ用トウモロコシ30D44（相対熟度（RM）135）を条間75cm、株間20cm（播種密度6,667本/10a）で20a播種した。施肥は、播種前に牛ふん堆肥4t/10aを施用し、播種時に硫安48kg/10a（10kgN/10a）を施用した。除草剤はアトラジン・メトラクロール水和剤を標準使用量で土壌処理した。

2012年11月15日、12月7日および12月25日に、任意の3ヶ所について刈取高10cmで畦の長さ3mを収穫した。収穫した全個体について、茎葉部と雌穂部に分別して新鮮重を測定後、5-6個体を細断して70°Cで48時間乾燥して乾物重を測定した。

サイレージ調製は、コーンハーベスタ（MH90S、ビコン、オランダ）で収穫し、細断型ロールベアラ（MR-810、タカキタ、三重）および自走式ラップマシン（SW1010WY、タカキタ、三重）を用いて、11月15日および12月7日は3個、12月25日は4個のロールベールサイレージを調製した。なお、収穫面積は11月15日および12月7日は6a、12月25日は8a程度であった。ラップフィルムは8層巻きとし、サイレージ用添加剤は使用しなかった。

収穫時に、細断型ロールベアラのホッパー部からサイレージ原料草を刈取日ごとに3点ずつ採取し、栄養価の分析に供した。デンプンは総澱粉量測定キット（K-TSTA、メガザイム、アイルランド）、細胞壁物質（OCW, organic cell wall）

および低消化性繊維 (Ob, organic b fraction) は酵素分析 (永西 2009) により分析した。可消化養分総量 (TDN, total digestible nutrients) は、細胞内容物質 (OCC, organic cell contents) および高消化性繊維 (Oa, organic a fraction) を用いた推定式 $TDN=0.545 OCC+1.413Oa+26.4$ で求めた (阿部 1988)。単少糖は、秋山 (1999) の方法に準じて分析した。

サイレージの発酵品質は、2013年7月1日にフィードサンプラー (SLG-76, 藤原製作所, 東京) で各ロールベールの上部, 中部および下部の3ヶ所からサイレージを採取し, 採取した全てを混合して分析に供した。水抽出した溶液からは, pHをガラス電極法, 揮発性塩基態窒素 (VBN, volatile basic nitrogen) を水蒸気蒸留法, 有機酸を高速液体クロマトグラフィー法, 風乾物からは, 全窒素 (TN, total nitrogen) をケルダール法でそれぞれ分析し, V-スコアを算出した (蔡 2009)。

栽培期間の単純積算温度および10°C基準の有効積算温度 (以下, 有効積算温度) は, 播種翌日から収穫日までの積算温度を算出した。

3 結 果

収穫日ごとの栽培期間の積算温度および収穫時の熟期を表3-1, 収穫時のトウモロコシの草姿を図3-1に示した。単純積算温度は1,896–2,189°Cで収穫日が遅くなるほど増加したが, 有効積算温度は1,007–1,016°Cで12月7日以降には増加しなかった。本試験では, 降霜について観察はしていないが, 11月15日, 12月7日および12月25日の収穫では, 栽培期間中に降霜の目安となる最低気温が4°C以下の日は, それぞれ2日, 16日および32日あった。

収穫時の熟期は, 11月15日では乳熟期, 12月7日では乳熟期から糊熟期, 12月25日では糊熟期であった。植物体の状態は, 11月15日では緑度が保全されていたが, 12月7日では緑度は残るが葉には乾燥をともなう萎れがみられる

表3-1 栽培期間の積算温度および収穫時熟期.

収穫日	積算温度 (°C)		収穫時熟期
	単純	有効 ¹	
11月15日	1,896	1,007	乳熟期
12月7日	2,089	1,016	乳熟期～糊熟期
12月25日	2,189	1,016	糊熟期

¹有効積算温度は10°C基準.

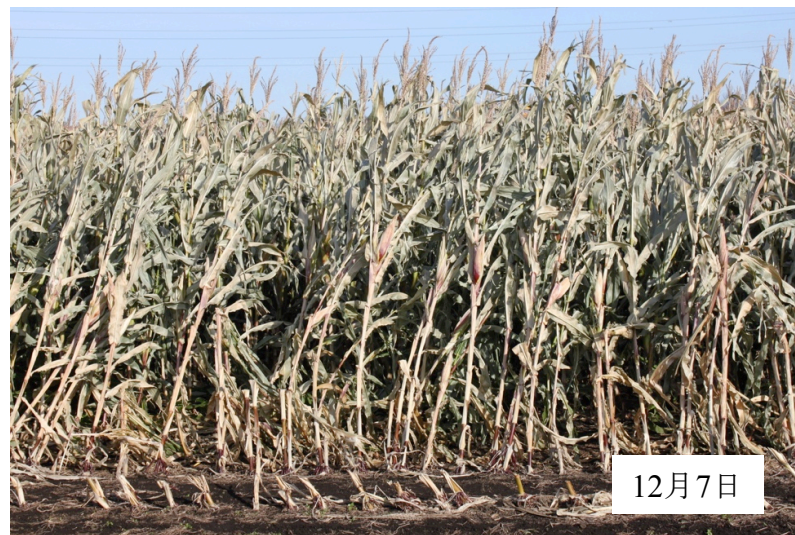


図3-1 収穫時のトウモロコシの草姿.

ようになり、12月25日では緑度は失われ立枯れ状態となった。

収穫調査結果を表3-2に示した。茎葉の乾物収量は、収穫日が遅くなるほど減少する傾向がみられ、11月15日には586kg/10aであったが、12月25日には476kg/10aとなった。一方、雌穂の乾物収量は、茎葉とは逆に収穫日が遅くなるほど増加する傾向がみられ、11月15日には158kg/10aであったが、12月25日には284kg/10aとなった。全体の乾物収量は、茎葉の減少と雌穂の増加が相殺され収穫日による差はほとんど見られず、743–773kg/10aであった。

乾物率は、収穫日が遅くなるほど増加する傾向が見られ、茎葉では、11月15日には20.0%であったが、12月25日には35.8%となり、雌穂では、11月15日には22.9%であったが、12月25日には37.7%となり、全体では、11月15日には20.5%であったが、12月25日には36.5%となった。

乾物中雌穂重割合は、収穫日が遅くなるほど増加する傾向がみられ、11月15日には20.9%であったが、12月25日には37.2%となった。

サイレージ原料草のデンプン、TDN および酵素分画含量を表3-3に示した。デンプン含量は、収穫日が遅くなるほど増加する傾向が見られ、11月15日には6.7%であったが、12月25日には12.0%となった。TDN含量は、11月の収穫では12月の収穫より高い傾向がみられ、11月15日には54.6%であったが、12月7日および12月25日には52.9%および52.4%であった。酵素分画は、12月25日には11月15日よりOCCが低くOCWおよびObが高い傾向であった。

サイレージ原料草の単少糖含量を表3-4に示した。乾物中のフルクトース、グルコースおよびスクロースの合計含量は、収穫日が遅くなるほど減少する傾向がみられ、11月15日には18.6%であったが、12月25日には8.0%となった。

サイレージの発酵品質を表3-5に示した。pHは3.6–3.7、全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合(VBN/TN)は5.8–6.5%、V-スコアは91.7–93.4であり、収穫日による差はほとんど見られなかった。有機酸組成は、いずれの収穫日にお

表3-2 収穫調査結果.

収穫日	乾物収量 (kg/10a)			乾物率 (%)			乾物中雌穂重割合 (%)
	茎葉	雌穂	全体	茎葉	雌穂	全体	
11月15日	586 ± 100	158 ± 48	743 ± 147	20.0 ± 0.5	22.9 ± 0.2	20.5 ± 0.4	20.9 ± 2.3
12月7日	520 ± 58	253 ± 23	773 ± 37	23.2 ± 0.5	31.5 ± 2.3	25.4 ± 0.4	32.9 ± 4.4
12月25日	476 ± 67	284 ± 58	760 ± 125	35.8 ± 1.2	37.7 ± 1.2	36.5 ± 1.2	37.2 ± 1.5

¹数値は平均値±標準偏差.

表3-3 サイレージ原料草のデンプン，TDNおよび酵素分画含量.

収穫日	デンプン (%DM)	可消化養分総量 (TDN) (%DM)	酵素分画 (%DM)			
			細胞内容物質 (OCC)	細胞壁物質 (OCW)	高消化性繊維 (Oa)	低消化性繊維 (Ob)
11月15日	6.7 ± 0.3	54.6 ± 0.5	38.2 ± 0.6	55.9 ± 0.5	5.2 ± 0.4	50.7 ± 0.4
12月7日	9.2 ± 0.2	52.9 ± 0.3	38.5 ± 1.1	55.5 ± 1.0	3.9 ± 0.6	51.5 ± 0.5
12月25日	12.0 ± 0.3	52.4 ± 0.7	35.3 ± 0.8	59.1 ± 0.7	4.8 ± 0.5	54.3 ± 0.6

¹ TDN=0.545 OCC+1.413Oa+26.4の式の推定値.

²数値は平均値±標準偏差.

表3-4 サイレージ原料草の単少糖含量 (%DM) .

収穫日	フルクトース	グルコース	スクロース	合計
11月15日	6.5 ± 0.3	4.1 ± 0.2	8.1 ± 0.9	18.6 ± 0.8
12月7日	5.1 ± 0.2	2.8 ± 0.2	5.6 ± 1.0	13.5 ± 1.3
12月25日	4.4 ± 0.3	2.3 ± 0.1	1.3 ± 0.2	8.0 ± 0.4

¹数値は平均値±標準偏差.

表3-5 サイレージの発酵品質.

収穫日	pH	VBN/TN ¹ (%)	V-スコア	有機酸組成 (%FM)		
				乳酸	酢酸	プロピオン酸 ² 酪酸 ²
11月15日	3.6 ± 0.0	6.1 ± 0.5	93.4 ± 2.9	1.1 ± 0.1	0.8 ± 0.3	ND
12月7日	3.6 ± 0.0	5.8 ± 0.2	93.2 ± 2.2	1.2 ± 0.2	0.9 ± 0.2	ND
12月25日	3.7 ± 0.0	6.5 ± 0.5	91.7 ± 0.5	1.3 ± 0.1	0.9 ± 0.2	ND

¹ 全窒素に対する揮発性塩基態窒素の割合.

² NDは未検出であることを示す.

³ 数値は平均値±標準偏差.

いても乳酸および酢酸が生成され、プロピオン酸および酪酸の生成は認められなかった。

4 考 察

寒冷地では、登熟過程のトウモロコシは、降霜後も登熟が進み飼料価値が増加することから、軽度の被害であれば栽培を継続することも選択の一つとされている（金子 1973；戸澤 2005）。しかし、降霜による影響はその強度によって異なり、被霜程度が強度の場合には収量や栄養価は減少し、サイレージの発酵品質が低下することが報告されている（吉田・岡本 1978；岩崎ら 1981；戸澤 2005）。

一方、関東以西の温暖地および暖地では、作業分散を目的として、晩秋から冬季にかけて、ソルガムの立毛貯蔵が行なわれている。ソルガムは、立毛貯蔵中に被霜することで立枯れして水分、乾物収量および糖含量が減少することが報告されている（後藤ら 1985；Goto ら 1987；加藤ら 2008）。

収穫時の熟期と乾物率は、11月15日には乳熟期で20.5%、12月7日には乳熟期から糊熟期で25.4%、12月25日には糊熟期で36.5%となった。登熟期のトウモロコシの乾物率が1%増加するためには、単純積算温度が50℃必要とされているが（戸澤 2005）、本試験における収穫日間の単純積算温度および乾物率の増加は、11月15日から12月7日までは193℃で4.9%、12月7日から12月25日までは100℃で11.1%であった。この結果から、乾物率が1%増加することに要した単純積算温度を算出すると、11月15日から12月7日までは39.4℃、12月7日から12月25日までは9.0℃と戸澤（2005）の値より小さかった。本試験では降霜の観察はしていないが、気象条件と収穫時の植物体の状態から、11月15日には被霜の影響はなく、12月7日および12月25日には、被霜程度は軽度および強度であったと推測された。このことから、本試験における立毛貯蔵中の

乾物率の増加は、作物の生育に伴う登熟の進行だけではなく、気温の低下や被霜による葉部の枯死およびそれに続く乾燥が強く影響したと考えられた。

乾物収量は、収穫日が遅くなるほど茎葉では減少したが、雌穂では増加し、全体では茎葉の減少と雌穂の増加が相殺され、収穫日間における乾物収量の差はわずかであった。このことから、立毛貯蔵中の被霜が乾物収量に与える影響はわずかであると考えられた。

収穫日が遅くなるほどに雌穂の乾物収量、乾物中雌穂重割合、Ob 含量およびサイレージ原料のデンプン含量は増加したが、TDN 含量は低下した。しかし、TDN 含量の減少はわずかであり、デンプンは蓄積したことから、立毛貯蔵中の被霜が栄養価に与える影響はわずかであると考えられた。

一方、本試験での TDN 含量は 52.9–54.6%であり、関東地方の栽培限界地帯において適期播種した夏播きトウモロコシの 66.7%（菅野ら 2013）と比較して、10 ポイント以上低かった。このことから、播種適期を過ぎて播種することは、登熟不足で通常より雌穂の収量が少なくなり、TDN 含量が低下することから、適期播種を心がけることが重要であると考えられた。

乾物率が 20.5%と高水分な原料もあったが、調製したサイレージは収穫日にかかわらず全て良質な発酵品質となった。サイレージ原料の適当な乾物率は 30–35%であり、少なくとも 25–35%の範囲であることが望ましく（戸澤 2005）、高水分な原料では排汁損失が発生する（大下ら 2005；志藤ら 2005；戸澤 2005）。志藤ら（2005）は、細断型ロールペーラでは、高水分な原料でも良質な発酵品質のサイレージを調製できることを示しており、11 月 15 日収穫の乾物率が 20.5%と高水分な原料においても良質な発酵品質となったことは、細断型ロールペーラでサイレージ調製をしたことによる高密度梱包という特性に依存するところが大きいと考えられた。しかしながら、乾物率が 20%程度の高水分な原料では、排汁損失も大きいことから、11 月 15 日の収穫のように、立毛貯蔵中の

緑度が保全されている時期の収穫は望ましくないと考えられた。

良質なサイレージ調製には、原料草中の可溶性炭水化物（WSC, water soluble carbohydrate）が乾物中に 10%以上であることが望ましい（野中 2014）。本試験では、単少糖含量は収穫日が遅くなるほど減少し、12月25日の収穫では、単少糖含量は 8.0%となった。WSC 含量は、単少糖含量より高いことを考慮しても、単少糖含量が 8.0%という値は許容限界に近いと推定されることから、本試験における 12月25日の収穫のように、緑度が失われて立ち枯れする以降までの立毛貯蔵は避けることが望ましいと考えられた。

一方、トウモロコシは霜害により、茎葉が枯死して同化作用と養分の転流が停止するが、緑度がほとんど失われて枯死した後も子実重は増加することが知られている。この場合の子実の増加は、同化作用によるものではなく、茎葉に蓄積されていた同化産物の転流によるものであると考えられている（戸澤 2005）。本試験では、11月15日から12月25日の間の有効積算温度は 9°Cにすぎなかったが、この間にも登熟は進行して雌穂収量およびデンプン含量は増加し、茎葉収量および単少糖含量は減少し、TDN 含量は変化しなかった。このことは、10°C以下の気温では、生長はしないが転流は継続していることを示していると考えられた。

以上の結果から、関東地方においては、播種が遅れた夏播きトウモロコシは、晩秋に登熟不足で高水分な条件となっても、立毛貯蔵で収穫期を調整して水分含量を調整することにより、排汁による養分損出を軽減することが可能であった。一方、立毛貯蔵により単少糖含量は減少するため、緑度が失われて立ち枯れする以降までの立毛貯蔵は望ましくない。従って、登熟不足の夏播きトウモロコシの収穫適期は、本試験における 12月7日の収穫のように、立毛貯蔵で緑度は残るが葉には乾燥をとまなう萎れがみられる程度の時期とすることが望ましいと考えられた。

小 括

サイレージ品質の改善のため、登熟不足の夏播きトウモロコシのサイレージ調製のための収穫適期について検討した。播種が遅れた夏播きトウモロコシは、立毛貯蔵して被霜しても乾物収量は変化しなかったが、乾物率および乾物中雌穂重割合は、収穫日が遅くなるほど増加する傾向が見られ、晩秋に登熟不足で高水分な条件となっても、立毛貯蔵で収穫期を調整して水分含量を調整することにより、排汁による養分損出を軽減することが可能であることを示した。一方、立毛貯蔵により単少糖含量は減少するため、緑度が失われて立ち枯れする以降までの立毛貯蔵は望ましくないことから、登熟不足の夏播きトウモロコシの収穫適期は、立毛貯蔵で緑度は残るが葉には乾燥をとまなう萎れがみられる程度の時期とすることが望ましいと考えられた。

第4章 ソルガム類を活用したコントラクター等に適した省力的多収飼料生産技術

トウモロコシ (*Zea mays* L.) とソルガム (*Sorghum bicolor* Moench) の混播は、1回の播種で2回の収穫が可能な省力的多収な飼料作物栽培技術として1980年代から各地で導入され、今では種苗会社のカタログにもソルガムの栽培技術の一つとして紹介される等、関東以西の温暖地および暖地の一般的な栽培方法として普及している。関東地方では、茨城県や千葉県等(深沢ら2003;青木ら2004)で広く利用され、茨城県では200ha、千葉県では50ha規模で飼料生産受託組織(コントラクター)により作付けおよび収穫されている。

関東地方におけるトウモロコシとソルガムの混播では、相対熟度(以下RM)110-120程度の早生から早中生品種のトウモロコシとソルゴー型または兼用型ソルガムを4月中旬から下旬に同時に播種し、1番刈りはトウモロコシの黄熟期にあわせてトウモロコシとソルガムを同時に収穫し、2番刈りは11月中旬から12月上旬にソルガム再生草を被霜により水分を低下させてから収穫する栽培方法がとられている(青木ら2004;井上ら1989;木原ら1991;米本ら2003)。

長野県で育成されたスーダン型ソルガム (*Sorghum bicolor* Moench × *S. sudanense* [Piper] Stapf.) の新品種峰風は、初期生育および再生性に優れた超多収品種で、茎を絞っても搾汁液がほとんど流出しない、スーダン型ソルガムとしては数少ない乾性の特性を持つ(清沢2015)。このため、トウモロコシとソルガム混播では、収穫時の水分が調整しやすく、トウモロコシとの混播での利用において高品質サイレージの生産に適すると考えられる。

そこで、省力化や作業分散により受託面積の拡大が可能となるコントラクター向け省力的多収飼料生産技術として、関東地域の多収な慣行栽培体系のトウモロコシとイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) の二毛作と比較し

て、年間収量がほぼ同水準で作業時間が 25%削減可能な飼料生産体系として、第 1 節ではスーダン型ソルガム新品種峰風を利用したトウモロコシとソルガム混播の栽培方法、第 2 節では第 1 節で開発した峰風とトウモロコシの混播とトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作、トウモロコシ二期作および従来から採用されているソルゴー型ソルガムとトウモロコシの混播との収量性の比較、第 3 節では第 1 節で開発したスーダン型ソルガム峰風を導入したトウモロコシとソルガム混播とトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作およびトウモロコシ二期作の作業性を比較して、コントラクター向けの省力多収飼料生産技術について検証した。

第 1 節 ソルガム新品種を活用したトウモロコシとソルガム混播の栽培方法

1 目 的

トウモロコシとソルガム混播では、従来はソルゴー型または兼用型ソルガムが利用されてきたが、近年長野県で育成されたスーダン型ソルガム新品種の峰風は、再生性に優れ、乾性の特性をもつことから、トウモロコシとの混播での利用に適すると考えられる。

そこで、本節では峰風を導入したトウモロコシとソルガム混播の栽培方法について検討した。

2 材料と方法

試験は、2013 年から 2015 年まで、神奈川県海老名市（神奈川県畜産技術センター）で実施した。トウモロコシとソルガム混播（以下、混播）では、峰風との混播には、2013 年にはタカネスター（相対熟度（以下、RM）113）、2014–2015 年にはタカネスターおよび 34N84（RM108）、従来品種との混播では、2013 年

は高糖分ソルゴーDH（以下、FS502）および高消化ソルゴー（以下、KCS404）とタカネスターを供試した。

2013年は4月23日、2014年は4月2日および4月16日、2015年は4月2日および4月17日に播種した。1番刈り（トウモロコシとソルガムを同時に収穫）はトウモロコシの黄熟期、2番刈り（ソルガム再生草）は、FS502およびKCS404では糊熟期、峰風では2013年は出穂始め、2014年は早刈りでは出穂始め、遅刈りでは糊熟期、2015年は糊熟期をそれぞれ目安にして収穫した。

試験区は、1区画を3m×4m（12m²）とし、条間75cmでトウモロコシは株間20cmで2粒ずつ播種して、4-6葉期に栽植密度が6,667本/10aとなるように間引きまたは補植した。ソルガムは、2013年には1.0kg/10a、2014年および2015年には峰風は1.0kg/10aまたは0.5kg/10a播種して間引きまたは補植はしなかった。配置は、試験区ごとに3反復した。

施肥は、播種前に牛ふん堆肥5t/10a、苦土石灰60kg/10a混播、播種時に硫安48kg/10a（N10kg/10a）、1番刈り収穫時に化成肥料31kg/10a（N、K各5kg/10a）を施用した。

収量調査は、試験区の両側2条を除く中央2条を全て収穫し、試験区ごとにトウモロコシは茎葉と雌穂部、ソルガムは茎葉と穂部に分別して新鮮重を測定後、トウモロコシは5個体およびソルガム茎葉2kg程度を細断、ソルガム穂は収穫物全てを70℃で48時間乾燥して乾物重を測定した。可消化養分総量（TDN, total digestible nutrients）は、NRC乳牛2001年度版で採用されているWeissら（1992）の方法により推定した。

3 結 果

2013年に実施した試験における乾物収量を表4-1に示した。ソルガム品種の違いにより、年間合計の乾物収量、1番刈り中のトウモロコシ割合および2番刈

表4-1 2013年試験におけるソルガム品種の違いによる乾物収量の比較.

ソルガム品種	乾物収量 (kg/10a)					1番刈り中 トウモロコシ割合 (%)
	1番刈り		2番刈り		年間合計	
	トウモロコシ	ソルガム	ソルガム	ソルガム		
峰風	553 a	946	1,499	400 a	1,899 a	37 a
FS502	1,119 b	970	2,089	766 b	2,855 b	54 b
KCS404	1,023 ab	1,003	2,025	562 ab	2,587 b	51 ab
分散分析 ¹	*	NS	NS	**	*	*

¹NSは5%水準で有意性がないことを, *は5%水準で, **は1%水準で有意性があることを示す.

りの乾物収量に差が認められた。1 番刈りと 2 番刈りを合わせた年間合計の乾物収量は 1,899–2,855kg/10a で、峰風との混播は、FS502 および KCS404 との混播より少なかった。トウモロコシとソルガム 1 番草を合わせた 1 番刈りの乾物収量は 1,499–2,089kg/10a であり、内訳はトウモロコシが 553–1,119kg/10a、ソルガムが 946–1,003kg/10a であった。峰風との混播は、FS502 との混播よりトウモロコシの乾物収量が少なかった。1 番刈り中のトウモロコシ割合は 37–54% であり、峰風との混播は FS502 との混播より低かった。ソルガム再生草の 2 番刈り乾物収量は 400–766kg/10a であり、峰風は FS502 より少なかった。

2014 および 2015 年に実施した、峰風の播種量を 1.0kg/10a とした場合の 34N84 およびタカネスターの混播の乾物収量を表 4-2 に示した。1 番刈り中のトウモロコシおよびソルガム、1 番刈り中のトウモロコシ割合に試験年による差が認められたが、トウモロコシ品種による差は認められなかった。試験年とトウモロコシ品種による交互作用はなかった。

乾物収量は、年間合計では 3,010–3,282kg/10a、1 番刈りでは 2,220–2,384kg/10a、2 番刈りでは 636–964kg/10a であった。1 番刈りの乾物収量の内訳は、トウモロコシが 936–1,556kg/10a、ソルガムが 818–1,448kg/10a であり、トウモロコシ割合は 39–66% であった。トウモロコシ品種による有意差は認められなかったが、2014 年、2015 年ともに 34N84 の方がタカネスターより 1 番刈り中のトウモロコシ収量が多く、トウモロコシ割合が高い傾向であった。

峰風と 34N84 の混播における峰風の播種量ごとの乾物収量を表 4-3 に示した。試験年では、年間合計の乾物収量、1 番刈り中のトウモロコシおよびソルガムの乾物収量、2 番刈りの乾物収量および 1 番刈り中のトウモロコシ割合、峰風の播種量では、1 番刈り中のトウモロコシおよびソルガムの乾物収量および 1 番刈り中のトウモロコシ割合にそれぞれ差が認められた。

乾物収量は年間合計では 2,974–3,383kg/10a、1 番刈りでは 2,270–2,390kg/10a、

表4-2 峰風と混播したトウモロコシ品種の違いにより乾物収量の比較.

試験年	トウモロコシ品種	相対熟度 ¹	乾物収量 (kg/10a)					トウモロコシ割合 (%)
			1番刈り		合計	2番刈り		
			トウモロコシ	ソルガム		ソルガム	年間合計	
2014	34N84	108	1,556	818	2,374	636	3,010	66
	タカネスター	113	1,278	942	2,220	779	3,282	58
2015	34N84	108	1,000	1,270	2,270	964	3,233	44
	タカネスター	113	936	1,448	2,384	849	3,233	39
試験年平均			1,417 b	880 a	2,297	707	3,146	62 b
品種平均	2014		968 a	1,359 b	2,327	906	3,233	42 a
	34N84		1,278	1,044	2,322	800	3,122	55
	タカネスター		1,107	1,195	2,302	814	3,257	48
分散分析 ¹	試験年		**	**	NS	NS	NS	**
	品種		NS	NS	NS	NS	NS	NS
	交互作用		NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹販売元の公表値.

²NSは5%水準で有意性がないことを, *は5%水準で, **は1%水準で有意性があることを示す.

³項目内で異なる符号を付したデータ間には5%水準で有意差がある.

表4-3 峰風播種量の違いによる乾物収量の比較.

試験年	峰風播種量 (kg/10a)	乾物収量 (kg/10a)						1番刈り中 トウモロコシ割合 (%)
		1番刈り		合計	2番刈り		年間合計	
		トウモロコシ ¹	ソルガム		ソルガム	ソルガム		
2014	1.0	1,556	818	2,374	636	3,010	66	
	0.5	1,840	543	2,382	592	2,974	77	
2015	1.0	1,000	1,270	2,270	964	3,233	44	
	0.5	1,345	1,045	2,390	993	3,383	56	
試験年平均	2014	1,698 b	680 a	2,378	614 a	2,992 a	71 b	
	2015	1,172 a	1,158 b	2,330	978 b	3,308 b	50 a	
播種量平均	1.0	1,278 a	1,044 b	2,322	800	3,122	55 a	
	0.5	1,592 b	794 a	2,386	792	3,178	67 b	
分散分析 ¹	試験年	**	**	NS	**	**	**	
	播種量	**	**	NS	NS	NS	**	
	交互作業	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

¹トウモロコシ品種は34N84.

²NSは5%水準で有意性がないことを, *は5%水準で, **は1%水準で有意性があることを示す.

³項目内で異なる符号を付したデータ間には5%水準で有意差がある.

2 番刈りでは 592–993kg/10a であった。1 番刈りの乾物収量の内訳は、トウモロコシが 1,000–1,840kg/10a, ソルガムが 543–1,270kg/10a であり、トウモロコシ割合は 44–77% であった。峰風の播種量では、0.5kg/10a の方が 1.0kg/10a より 1 番刈り中のトウモロコシ収量は多く、ソルガム収量は少なく、トウモロコシ割合は高かった。

峰風の播種量が 1.0kg/10a の場合の 34N84 との混播における播種期の旬間の日平均気温ごとの乾物収量を表 4-4 に示した。播種期の旬間の日平均気温の違いにより、1 番刈り中のトウモロコシおよびソルガムの乾物収量、2 番刈りの乾物収量、1 番刈り中のトウモロコシ割合に差が認められた。

乾物収量は年間合計では 2,968–3,233kg/10a, 1 番刈りでは 2,270–2,374kg/10a, 2 番刈りでは 615–964kg/10a であった。1 番刈りの乾物収量の内訳は、トウモロコシが 1,000–1,583kg/10a, ソルガムが 769–1,270kg/10a であり、トウモロコシ割合は 44–67% であった。播種期の旬間の日平均気温が 14.1°C では、1 番刈り中のトウモロコシの収量は少なく、ソルガムの収量は多く、トウモロコシ割合は低く、2 番刈りの乾物収量は多かった。

2 番刈りの峰風再生草の収穫期ごとの乾物率および乾物収量を表 4-5 に示した。早刈りでは 9 月 18 日および 10 月 2 日に開花始から開花期、遅刈りでは 10 月 29 日糊熟期から完熟期で収穫した。早刈りおよび遅刈りの乾物率は、20.6 および 27.2%, 乾物収量は 540 および 665kg/10a で、早刈りより遅刈りの方が乾物率および乾物収量が高くなった。

2 番刈りの峰風再生草の収穫期の違いによる飼料成分を表 4-6 に示した。早刈りでは開花始～開花期、遅刈りでは糊熟期で収穫した。早刈りおよび遅刈りの乾物率は 20.9 および 26.1%, 粗タンパク質 (CP, crude protein) 含量は 11.0 および 9.0%, 中性デタージェント繊維 (NDF, neutral detergent fiber) 含量は 62.4 および 54.3%, 非繊維性炭水化物 (NFC, non fibers carbohydrate) 含量は 15.8 およ

表4-4 播種期の旬間の日平均気温の違いにより乾物収量の比較.

旬間の日平均気温 (°C)	乾物収量 (kg/10a)						1番刈り中 トウモロコシ 割合 (%)
	1番刈り		2番刈り		年間合計		
	トウモロコシ	ソルガム	ソルガム	合計	ソルガム	合計	
12.2	1,583 b	769 a	769 a	2,352	615 a	2,968	67 a
12.7	1,556 b	818 a	818 a	2,374	636 a	3,010	66 a
14.1	1,000 a	1,270 b	1,270 b	2,270	964 b	3,233	44 b
分散分析 ¹	**	**	**	NS	**	NS	**

¹NSは5%水準で有意性がないことを, *は5%水準で, **は1%水準で有意性があることを示す.

²項目内で異なる符号を付したデータ間には5%水準で有意差がある.

表4-5 峰風再生草の収穫期の違いによる乾物率および乾物収量の比較.

トウモロコシ品種	峰風播種量 (kg/10a)	播種日	収穫日	収穫時ステージ	乾物率 (%)	乾物収量 (kg/10a)
34N84	1.0	4/2	9/18	開花期	17.7	480
			10/29	完熟期	28.1	615
34N84	1.0	4/16	10/2	開花始	22.3	595
			10/29	糊熟期	26.7	636
34N84	0.5	4/16	10/2	開花期	21.1	489
			10/29	糊熟期	26.1	592
タカネスター	1.0	4/16	10/2	開花期	21.2	597
			10/29	糊熟期	27.8	779
平均	早刈り ¹ 遅刈り ²				20.6 27.2	540 655
	t-検定 ³				**	**

¹9/18-10/2に開花始～開花期で収穫した.

²10/29に糊熟期～完熟期で収穫した.

³**は1%水準で有意性があることを示す.

表4-6 峰風再生草の収穫期の違いによる飼料成分の比較.

収穫期	収穫ステージ	乾物率 (%)	飼料成分 (%DM)				NDF消化率 ¹ (%)	TDN ¹ (%DM)	試験年
			CP	NDF	NFC	ADL			
早刈り	開花始	20.6	10.1	64.3	15.6	6.0	51.8	50.2	2013
	開花期	21.1	12.0	60.4	16.0	5.8	50.8	52.1	2014
	平均	20.9	11.0	62.4	15.8	5.9	51.3	51.1	
遅刈り	糊熟期	26.1	10.1	53.0	25.8	4.9	51.5	56.2	2014
	糊熟期	26.6	8.3	55.3	27.0	5.9	48.9	54.5	2015
	糊熟期	25.7	8.7	54.6	27.3	5.8	49.1	54.9	2015
	平均	26.1	9.0	54.3	26.7	5.5	49.8	55.2	

¹NRC飼養標準 (2001年版) により推定した.

び 26.7%，酸性デタージェントリグニン（ADL, acid detergent lignin）含量は 5.9 および 5.5%，NDF 消化率は 51.3 および 49.8%，TDN 含量は 51.1 および 55.2% であった。収穫期を早刈り（開花始～開花期）から遅刈り（糊熟期）まで収穫期を遅らせることにより，NFC 含量の増加，NDF 含量の低下がみられ，TDN 含量は増加した。

4 考 察

2013 年の試験では，峰風とタカネスターの混播は，ソルゴー型ソルガムの FS502 および KCS404 の混播より年間の乾物収量は 26.7–27.3% 少なかった。1 番刈り乾物収量中のトウモロコシ割合は，峰風との混播では 37% で，FS502 および KCS404 との混播より 13.6–16.7 ポイント少なかった。ソルゴー型および兼用型ソルガムを利用した混播栽培の 1 番刈り収量中のトウモロコシ割合は，48–94%（木原ら 1991），47–96%（米本ら 2003）と品種や試験年により大きな差が見られ，井上ら（1989）および黒江ら（1982）の報告では，それぞれの最適な組み合わせでは 81–95% および 72% であった。スーダン型ソルガムは，アレロパシー等により兼用型ソルガムより混播栽培でトウモロコシの生育を抑制する傾向にあり（柿原・福田 1988），峰風がトウモロコシの生育を抑制したことが原因で，トウモロコシ収量が少なくなったと考えられた。また，峰風の混播は，FS502 および KCS404 と比べて 2 番刈りのソルガム再生草の乾物収量も少なく，トウモロコシの生育の抑制と合わせてソルゴー型ソルガムとの混播より年間合計の乾物収量が少なくなったと考えられた。

既往の報告では，5 月播種より 4 月播種の方が乾物収量は多く（木原ら 1991；小林ら 1997），また，ソルガムの播種量を少なくすることによりトウモロコシの割合が増えたことが報告されている（黒江ら 1982；井上ら 1989）。このため，2014 年および 2015 年には，混播で峰風との競合に負けないようにトウモロコシ

の初期生育を確保するため、組み合わせるトウモロコシ品種、峰風の播種量、播種期について検討するとともに、併せて峰風の再生草の収穫時期についても検討した。

慣行法のトウモロコシとソルガムの混播では、トウモロコシは早生品種が利用されている。しかし、峰風との混播では、早生品種のタカネスターは峰風との競合で被圧されて収量が減少したため、峰風と組み合わせるトウモロコシ品種として、タカネスターより初期生育の優れる極早生品種の 34N84 との組み合わせについて検討したところ、組み合わせるトウモロコシ品種による乾物収量に差はなかったが、TDN 含量の高いトウモロコシの割合はタカネスターより 34N84 の方が高く、34N84 との組み合わせの方が TDN 収量は高くなると考えられた。このことから、峰風との混播には、慣行の早生品種より初期生育のよい極早生品種との組み合わせが適すると考えられた。

慣行法のトウモロコシとソルガム混播では、ソルガム播種量は 1–2kg/10a 程度となっている。2013 年の試験では、峰風の播種量を 1.0kg/10a としたが、トウモロコシは峰風との競合に負けて被圧された。そこで、34N84 との組み合わせにおける峰風の播種量を検討したところ、1.0kg/10a および 0.5kg/10a との間には年間の乾物収量に差はなかったが、0.5kg/10a とした場合の方が 1 番刈りのトウモロコシ割合が高く、年間の TDN 収量も高くなると考えられた。このことから、峰風の播種量は 0.5kg/10a が適すると考えられた。

慣行法では、トウモロコシとソルガム混播の播種期は 4 月中旬から下旬で、通常のソルガムの播種期（日平均気温が 15℃程度の時期）より早めとして、ソルガムの生育を抑制気味にすることにより、1 番刈りをトウモロコシ主体とすることで TDN 収量を確保することが行なわれている。2013 年では播種期の旬間の日平均気温は 14.7℃でトウモロコシは峰風との競合で負けて被圧された。播種期の旬間の日平均気温について検討したところ、1 番刈りおよび年間合計の乾

物収量に差はなかったが、旬間の日平均気温が 12.2–12.7℃では 1 番刈り中トウモロコシ割合は 14.1℃より高く、年間の TDN 収量は多収になると考えられた。峰風とトウモロコシの混播では、峰風は初期生育に優れることから、慣行法による播種期より早い旬間の日平均気温が 12–13℃程度の 4 月上旬から中旬に播種することが適すると考えられた。

スーダン型ソルガムの収穫適期は、穂孕み期から出穂期程度であり、収穫が遅れると消化率が低下する（小楨 2009）。2 番刈りのソルガム再生草の収穫期を検討したところ、開花始～開花期から糊熟期～完熟期まで収穫期を遅らせることにより、乾物率および乾物収量は増加した。飼料成分では、収穫期を遅らせることにより、NDF 含量の低下および NFC 含量の増加がみられ、TDN 含量は微増した。収穫期を通常は収穫適期とされている出穂期程度から糊熟期まで遅らせることにより、乾物率はサイレージ調製に適する範囲まで増加し、TDN 収量も増加することから、2 番刈りのソルガム再生草の収穫期は、糊熟期程度が適すると考えられた。

以上の結果から、ソルガム新品種峰風とトウモロコシの混播 2 回刈り栽培体系では、組み合わせるトウモロコシ品種は RM110 以下の極早生品種とし、播種はトウモロコシでは 7,000 本/10a 程度の栽植密度、ソルガムはトウモロコシと組み合わせ、ソルガムの播種量は 0.5kg/10a（栽植密度 15,500 本/10a）の割合で、旬間の日平均気温が 13℃程度の時期には播種する。1 番刈りはトウモロコシの黄熟期、2 番刈りはソルガム再生草の糊熟期に収穫する栽培方法が適すると考えられた。

第2節 ソルガム新品種を活用したトウモロコシとソルガム混播の収量性

1 目 的

関東南部では、トウモロコシとソルガム混播 2 回刈り栽培は、省力的多収な飼料作物生産方法として 1980 年代ごろから導入されている。

そこで、本節では前節で開発したスーダン型ソルガム新品種の峰風とトウモロコシの混播の収量性について、トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作、トウモロコシ二期作および従来のソルゴー型ソルガムとトウモロコシの混播と比較して検討した。

2 材料と方法

試験は、2014 年から 2015 年まで、神奈川県海老名市（神奈川県畜産技術センター）で実施した。トウモロコシとソルガム新品種峰風の混播（以下、新品種混播）では、トウモロコシは 34N84 (RM108)、トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作（以下、二毛作）ではトウモロコシはタカネスター (RM113)、イタリアンライグラスは優春（早生）、トウモロコシ二期作では、1 作目は 2014 年では KD500 (RM100)、2015 年では KD510 (RM100)、2 作目は 30D44 (RM135)、トウモロコシとソルガム従来品種の混播（従来品種混播）では、トウモロコシはタカネスター、ソルガムは FS502（ソルゴー型）をそれぞれ供試した。

トウモロコシとソルガム混播では、2014 年 4 月 16 日および 2015 年 4 月 17 日に播種して、1 番刈りはトウモロコシの黄熟期、2 番刈りはソルガム再生草の糊熟期を目安に収穫した。二毛作では、トウモロコシは 2014 年 5 月 8 日および 2015 年 5 月 18 日に播種して、黄熟期を目安に収穫した。イタリアンライグラスは、2013 年 10 月 4 日および 2014 年 10 月 9 日に播種して、翌年春に 1 番草を出穂期を目安に収穫した。二期作では、1 作目は、2014 年 4 月 2 日および 2015 年 4 月

2日、2作目は、2014年8月4日および2015年8月5日に播種して黄熟期を目安に収穫した。

試験区は、新品種混播および従来品種混播では、1区画を3m×4m (12m²)とし、条間75cmとした。トウモロコシは株間20cmで2粒ずつ播種して、4-6葉期に栽植密度が6,667本/10となるように間引きまたは補植した。ソルガムは新品種混播では0.5kg/10a、従来品種混播では1.0kg/10a播種した。配置は、試験区ごとに3反復した。二毛作のトウモロコシおよび二期作では、トウモロコシは、1区画を3m×4m (12m²)とし、条間75cm、株間20cmで2粒ずつ播種して、4-6葉期に栽植密度が6,667本/10aとなるように間引きまたは補植した。イタリアンライグラスは、2.25m×4m (9m²)に2.5kg/10a播種した。

施肥は、新品種混播および従来品種混播では、播種前に牛ふん堆肥5t/10a、苦土石灰60kg/10a、播種時に硫安48kg/10a (N10kg/10a)、1番刈り収穫時に化成肥料31kg/10a (N, K各5kg/10a)を施用した。二毛作では、トウモロコシでは播種前に牛ふん堆肥5t/10a、苦土石灰60kg/10a、播種時に硫安48kg/10a (N10kg/10a)を施用し、イタリアンライグラスでは播種前に牛ふん堆肥3t/10a、苦土石灰60kg/10a、播種時に、硫安24kg/10a (N5kg/10a)を施用した。二期作では、1作目作付け前に牛ふん堆肥5t/10a、苦土石灰60kg/10a、1作目および2作目播種時に硫安48kg/10a (N10kg/10a)を施用した。

収量調査は、新品種混播、二毛作のトウモロコシ、二期作および従来品種混播では、試験区の両側2条を除く中央2条を全て収穫し、試験区ごとにトウモロコシは茎葉と雌穂部、ソルガムは茎葉と穂部に分別して新鮮重を測定後、トウモロコシは5個体およびソルガム茎葉2kg程度を細断、ソルガム穂は収穫物全てを70°Cで48時間乾燥して乾物重を測定した。二毛作のイタリアンライグラスでは、1番草を任意の1m² (1m×1m)を3箇所収穫し、70°Cで48時間乾燥して乾物重を測定した。TDNは、NRC乳牛2001年度版で採用されているWeiss

ら（1992）の方法により推定した。

3 結 果

トウモロコシとソルガムの混播では、新品種混播は、2014年には1番刈りは8月6日、2番刈りは10月29日、2015年には1番刈りは8月4日、2番刈りは10月28日、従来品種混播は、2014年には1番刈りは8月6日、2番刈りは11月28日、2015年には1番刈りは8月7日、2番刈りは11月24日に収穫した。二毛作では、トウモロコシは2014年8月15日、2015年に8月21日、イタリアンライグラスは、2014年4月24日、2015年4月23日に収穫した。二期作では、1作目は、2014年に7月29日、2015年7月29日に収穫した。2作目は、2014年11月28日、2015年11月24日に収穫した。新品種混播では、従来品種混播と比較して、1番刈りでは同程度かやや早く、2番刈りでは1ヶ月程度早く収穫期となった。

作付体系ごとの乾物収量およびTDN収量を表4-7に示した。乾物収量およびTDN収量ともに、作付体系による差が認められた。乾物収量は、新品種混播では3,178kg/10a、二毛作では2,966kg/10a、二期作では3,628kg/10a、従来品種混播では3,386kg/10aであり、TDN収量は、新品種混播では1,908kg/10a、二毛作では1,863g/10a、二期作では2,519kg/10a、従来品種混播では2,147kg/10aであった。新品種混播の収量性は、二毛作と同程度、従来品種混播および二期作より少なかった。

作付体系ごとの収穫物の飼料成分を表4-8に示した。収穫物の内容は、新品種混播および従来品種混播では、1番刈りはトウモロコシとソルガムの混合物、2番刈りはソルガム再生草、二毛作では、夏作はトウモロコシ、冬作はイタリアンライグラス、二期作では、1作目および2作目ともにトウモロコシである。1番刈り、夏作および1作目では、全ての項目に作付体系による差、CP含量お

表4-7 作付体系の違いによる収量性の比較.

試験年	作付体系	収量 (kg/10a)	
		乾物	TDN
2014	新品種混播 ¹	2,974	1,845
	慣行二毛作 ²	2,925	1,759
	トウモロコシ二期作 ³	3,782	2,641
	従来品種混播 ⁴	3,290	2,148
2015	新品種混播 ¹	3,383	1,970
	慣行二毛作 ²	3,006	1,967
	トウモロコシ二期作 ³	3,474	2,396
	従来品種混播 ⁴	3,481	2,145
試験年平均	2014	3,243	2,098
	2015	3,336	2,054
作付体系平均	新品種混播 ¹	3,178 ab	1,908 a
	慣行二毛作 ²	2,966 a	1,863 a
	トウモロコシ二期作 ³	3,628 c	2,519 c
	従来品種混播 ⁴	3,386 bc	2,147 b
分散分析 ⁵	試験年	NS	NS
	作付体系	**	**
	交互作用	NS	NS

¹峰風と34N84の混播.

²KD500およびKD510と30D44の二期作.

³タカネスターと優春の二毛作.

⁴FS502とタカネスターの混播.

⁵NSは5%水準で有意性がないことを, **は1%水準で有意性があることを示す.

⁶項目内で異なる符号を付したデータ間には5%水準で有意差がある.

表4-8 作付体系の違いによる収穫物飼料成分の比較.

試験年	作付体系	1番刈り・夏作・1作目 ⁶				2番刈り・冬作・2作目 ⁷			
		TDN (%)	CP (%)	NFC (%)	NDF (%)	TDN (%)	CP (%)	NFC (%)	NDF (%)
2014	新品種混播 ¹	64.5	7.9 a	42.3 ab	41.7	52.0	10.1 c	25.7 b	53.1
	慣行二毛作 ²	61.4	9.0 a	42.0 a	32.2	60.5	17.2 d	20.2 a	50.6
	トウモロコシ二期作 ³	71.3	7.4 a	53.0 b	32.9	67.2	8.6 b	40.3 c	44.7
	従来品種混播 ⁴	66.3	7.8 a	44.4 ab	39.4	61.5	7.8 a	38.9 c	43.4
2015	新品種混播 ¹	60.7	6.6 b	36.2 a	49.0	52.2	8.6 c	26.8 a	55.1
	慣行二毛作 ²	67.3	7.6 c	47.8 b	37.5	60.4	9.5 d	26.7 a	52.8
	トウモロコシ二期作 ³	70.1	7.9 c	49.7 b	35.6	67.3	7.6 b	42.3 c	44.9
	従来品種混播 ⁴	61.9	6.1 a	39.7 a	45.5	60.6	7.2 a	37.6 b	45.6
作付体系平均	新品種混播 ¹	62.6 a	7.2 a	39.3 a	45.4 b	52.1 a	9.4 c	26.3 b	54.1 c
	慣行二毛作 ²	64.3 ab	8.3 b	44.9 b	34.8 a	60.5 b	13.3 d	23.5 a	51.7 b
試験年平均	トウモロコシ二期作 ³	70.7 b	7.6 ab	51.3 c	34.3 a	67.3 c	8.1 b	41.3 d	44.8 a
	従来品種混播 ⁴	64.1 ab	6.9 a	42.0 ab	42.4 b	61.1 b	7.5 a	38.3 c	44.5 a
分散分析 ⁵	2014	65.9	8.0 b	45.4 b	36.6	60.3	11.0 b	31.3 a	47.9 a
	2015	65.0	7.0 a	43.3 a	41.9	60.1	8.2 a	33.3 b	49.6 b
	作付体系	*	**	**	**	**	**	**	**
試験年	NS	**	**	NS	NS	**	**	**	
交互作用	NS	*	*	NS	NS	**	**	NS	

¹峰風と34N84の混播.

²KD500およびKD510と30D44の二期作.

³タカネスターと優春の二毛作.

⁴FS502とタカネスターの混播.

⁵NSは5%水準で有意性がないことを, *は5%水準で, **は1%水準で有意性があることを示す.

⁶新品種混播および従来品種混播ではトウモロコシとソルガムの混合物, 慣行二毛作ではトウモロコシ, トウモロコシ二期作ではトウモロコシ.

⁷新品種混播および従来品種混播ではソルガム再生草, 慣行二毛作ではイタリアンライグラス, トウモロコシ二期作ではトウモロコシ.

⁸項目内で異なる符号を付したデータ間には5%水準で有意差がある.

および NFC 含量に試験年による差が認められた。CP 含量および NFC 含量は作付体系と試験年の交互作用が認められた。2 番刈り，冬作および 2 作目では，全ての項目に作付体系による差，CP 含量，NFC 含量および NDF 含量に試験年による差が認められた。CP 含量および NFC 含量には，作付体系と試験年の交互作用が認められた。

1 番刈り，夏作および 1 作目では，TDN 含量および NFC 含量は二期作が高く，新混播品種は低かった。CP 含量は，新品種混播および従来品種混播は低く，二毛作は高かった。NDF 含量は，二毛作および二期作は低く，新品種混播および従来品種混播は高かった。2 番刈りでは，TDN 含量は，新品種混播は低く，二期作は高かった。CP 含量は，二毛作，新品種混播，二期作，従来品種混播の順に高かった。NFC 含量は，二期作，従来品種混播，新品種混播，二毛作の順に高かった。NDF 含量は，二期作および従来品種混播は低く，新品種混播は高かった。

4 考 察

新品種混播の収量性は，二毛作と比較して乾物収量では 7%，TDN 収量では 2%多かったが，従来品種混播および二期作と比較して，乾物収量では 6%および 12%少なく，TDN 収量では 11%および 24%少なかった。一方，関東地方の他の地域におけるソルガム新品種峰風とトウモロコシの混播 2 回刈りの収量性は，茨城ではソルガム従来品種 FS502 とトウモロコシの混播 2 回刈り，二毛作および二期作より乾物収量が 25.9–27.8%多く，群馬ではソルガム従来品種 FS502 とトウモロコシの混播 2 回刈りより 10.2%多く，栃木では二毛作および二期作より約 20%少なかった（折原ら 2015）。

このことから，峰風とトウモロコシの混播 2 回刈りは，神奈川では二毛作と同程度，茨城では最も多収な作付体系，群馬では従来品種の混播より多収な作

付体系であり、関東地方中部以南では二毛作と同程度かそれ以上の収量を得られる多収な作付体系であると考えられた。

トウモロコシとソルガムの混播において、従来のソルゴー型ソルガム品種から峰風に置き換えた場合、1番刈りの収穫はほぼ同じ時期であるが、峰風は2番刈りが10月下旬に収穫期となり、従来のソルゴー型ソルガムより1ヶ月程度早まった。2番刈りの収穫期が1ヶ月程度早まることにより、従来1番刈りの収穫が遅れて2番刈りの収量が見込めず収穫しなかった地域では、再生力の高い峰風を利用することにより2番刈りの収穫ができるようになったり、ソルゴー型ソルガムの一部を峰風に置き換えることにより、2番刈りの収穫期の作業分散が可能になったりするなどメリットが考えられた。

一方、峰風はスーダン型ソルガム品種であり、従来利用されているソルゴー型品種と置き換えた場合の飼料成分を比較すると、トウモロコシとソルガムの混合物である1番刈りでは、TDN、CP、NFC、NDF等の飼料成分はソルゴー型品種と差はなかったが、ソルガム再生草のみとなる2番刈りでは、CPおよびNDFは高く、TDNおよびNFCは低かった。また、ソルガム再生草のみとなる2番刈りは、トウモロコシとソルガムの混合の1番刈りを比較してみると、従来品種混播では、2番刈りではTDN含量は3.0ポイント、NFC含量は3.8ポイント低く、CP含量は0.6ポイント、NDF含量は2.1ポイント高かったが、新品種混播では、2番刈りではTDN含量は10.5ポイント、NFC含量は13.0ポイント低く、CP含量は2.2ポイント、NDF含量は8.7ポイント高かった。この様に、従来品種混播では、1番刈りと2番刈りの飼料成分に大きな差はなかったが、新品種混播では、TDNおよびNFCでは10ポイント以上低く、NDFでは8ポイント以上高く1番刈りと2番刈りの飼料成分の差は大きく異なった。このことから、新品種混播では、1番刈りから2番刈りへの飼料の切り替えにあたっては、飼料分析により飼料成分を把握して給与することが重要である。

第3節 トウモロコシとソルガム混播2回刈り栽培の作業性

1 目 的

スーダン型ソルガム新品種峰風とトウモロコシの混播は、関東地方中部以南ではトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作と同程度かそれ以上の収量を得られる多収な作付体系であり、1回の播種で2回収穫できることから、二毛作と比較して省力化が可能である。

そこで、本節では峰風とトウモロコシの混播の作業性について、トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作、トウモロコシ二期作と比較して検討した。

2 材料と方法

神奈川県畜産技術センターにおける2013年および2014年の慣行作業の作業時間について比較した。混播では、耕起した圃場にソルゴーアタッチ（JS-S，タカキタ，三重）を付属した2条播き播種機（JS2105，タカキタ，三重）でトウモロコシとソルガムを同時に播種した。二毛作のトウモロコシおよび二期作の1作目は、耕起した圃場に2条播き播種機で播種し、二期作の2作目は農研機構革新工学センター（当時は生研センター）で開発された不耕起対応高速播種機の試作機で不耕起播種した。トウモロコシおよびソルガムは、1条刈りハーベスタ（MH90S，ビコン，オランダ）を装着したトラクタ（90馬力）で細断型ロールベアラ（MR820，タカキタ，三重）を牽引したワンマン体系と自走式ラップマシーン（SW1120D，タカキタ，三重）で収穫した。イタリアンライグラスは、モーアコンディショナ（CM190TH，ビコン，オランダ）で刈り取り後、1日2回、テッドレーキ（RT3110，タカキタ，三重）で反転して2日間予乾し、ロールベアラ（CR1060W，タカキタ，三重）と自走式ラップマシーンで収穫した。調製したロールベールサイレージは、トレーラー（ITMT3520，HIスター，北海

道)を牽引したトラクタ(90馬力)とベールグラブを装着したトラクタ(95馬力)の2台で運搬した。

作業時間は、作業開始時間および終了時間をもとに測定し、それぞれ圃場面積が異なるため10a当りに換算して比較した。乾物収量は、ロールベール1個当たり100kgとして生産されたロールベール個数から推定した。

3 結 果

作付体系ごとの作業時間を表4-9に示した。混播では1番刈りは450分/10a、2番刈りは66分/10a、年間合計では516分/10a、二毛作では夏作は414分/10a、冬作は372分/10a、年間合計では786分/10a、二期作では1作目は426分/10a、2作目は186分/10a、年間合計では612分/10aであった。混播は、二毛作および二期作と比較して2番刈りの作業時間が少なく、年間合計の作業時間は34%および16%少なかった。

乾物生産量および作業時間当りの乾物生産量である労働生産性を表4-10に示した。乾物収量は、混播では1番刈りは1,350kg/10a、2番刈りは400kg/10a、年間合計は1,750kg/10a、二毛作では夏作は1,200kg/10a、冬作は900kg/10a、年間合計は2,100kg/10a、二期作では1作目は1,350kg/10a、2作目は900kg/10a、年間合計は2,250kg/10aであった。混播は、二毛作および二期作と比較して2番刈りの収量が低く、年間合計の乾物収量は17%および22%低かった。

労働生産性は、混播では1番刈りは3.00DMkg/分、2番刈りは6.06DMkg/分、年間合計では3.39DMkg/分、二毛作では夏作は2.90DMkg/分、冬作は2.42DMkg/分、年間合計では2.67DMkg/分、二期作では1作目は3.17DMkg/分、2作目は4.84DMkg/分、年間合計では3.68DMkg/分であった。混播は、二毛作および二期作と比較して2番刈りの労働生産性が高く、年間合計の労働生産性は二毛作より21%高く、二期作より8%低かった。

表4-9 作付体系の違いによる作業時間の比較.

作目	作業内容	作業時間 (分/10a)		
		混播	二毛作	二期作
1作目 ¹	堆肥散布	48	48	48
	耕耘	72	72	72
	播種・肥料散布	54	54	54
	除草剤	24	24	24
	収穫	168	144	144
	運搬	84	72	84
	小計	450	414	426
2作目 ²	堆肥散布	-	24	-
	耕耘	-	72	-
	播種・肥料散布	6	36	18
	除草剤	-		24
	収穫	36	204	84
	運搬	24	36	60
	小計	66	372	186
年間合計		516	786	612

¹混播は1番刈りでトウモロコシとソルガムの混合物，二毛作は夏作のトウモロコシ，二期作は1作目トウモロコシ.

²混播は2番刈りでソルガム再生草，二毛作は冬作のイタリアンライグラス，二期作は2作目トウモロコシ.

表4-10 作付体系の違いにより労働生産性の比較.

項 目	作目	混播	二毛作	二期作
作業時間 (分/10a)	1作目 ¹	450	414	426
	2作目 ²	66	372	186
	合計	516	786	612
乾物収量 (kg/10a)	1作目 ¹	1350	1200	1350
	2作目 ²	400	900	900
	合計	1750	2100	2250
労働生産性 (DMkg/分)	1作目 ¹	3.00	2.90	3.17
	2作目 ²	6.06	2.42	4.84
	合計	3.39	2.67	3.68

¹混播は1番刈りでトウモロコシとソルガムの混合物，二毛作は夏作のトウモロコシ，二期作は1作目トウモロコシ.

²混播は2番刈りでソルガム再生草，二毛作は冬作のイタリアンライグラス，二期作は2作目トウモロコシ.

4 考 察

トウモロコシとソルガムの混播は、1回の播種で2回収穫できる省力的な飼料作物作付体系である。播種作業は、堆肥散布や耕うんの作業に時間がかかるため、2番刈りの播種作業が省略できる混播は、特に作業時間が短縮される。本研究では、二期作においては2作目を不耕起播種したため、堆肥散布および耕うんの作業が省略でき、作業時間は1作目より短縮された。二毛作は、夏作は混播の1番刈りや二期作の1作目と同程度であったが、冬作のイタリアンライグラスでは、収穫と調製が同時にできるトウモロコシと異なり、刈り取りや予乾の作業が必要であり、ロールベアラでの収穫と調製も作業スピードはトウモロコシより低いため、収穫の作業時間が大幅に拡大して、混播および二期作より作業時間が拡大した。

労働生産性は、1番刈りおよび1作目の乾物収量は、各栽培体系間でほぼ同程度で労働生産性も同程度であったが、2作目の乾物収量は、混播では、二毛作および二期作より少なかったが、作業時間が少ないため、労働生産性は二毛作および二期作より多くなった。混播の年間の労働生産性は、二毛作より21%高く、関東南部で最も多収な飼料作物作付体系の二期作に近い値であり、労働生産性の高い作付体系であると考えられた。

第4節 小 括

省力的で多収な飼料作物栽培体系として、ソルガム類を活用したコントラクター等に適した省力的多収飼料生産について検討した。スーダン型ソルガム新品種峰風とトウモロコシの混播2回刈り栽培体系では、組み合わせるトウモロコシ品種はRM110以下の極早生品種とし、播種はトウモロコシでは7,000本/10a程度の栽植密度、ソルガムはトウモロコシと組み合わせて、ソルガムの播種量

は 0.5kg/10a (栽植密度 15,500 本/10a) の割合で、旬間の日平均気温が 13℃程度の時期には播種する。1 番刈りはトウモロコシの黄熟期、2 番刈りはソルガム再生草の糊熟期に収穫する栽培方法を開発した。開発した峰風とトウモロコシの混播 2 回刈り栽培の年間収量は、乾物収量では 3,178kg/10a、TDN 収量では 1,908kg/10a であり、トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作と比較して乾物収量では 7%、TDN 収量では 2%多かったが、従来のソルゴー型ソルガム品種とトウモロコシとの混播およびトウモロコシ二期作と比較して、乾物収量では 6%および 12%、TDN 収量では 11%および 24%少なかった。しかし、労働生産性は 3.39DMkg/分であり、トウモロコシ二期作より 8%低かったがトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作より 21%高く、労働生産性の高い作付体系であった。従来のソルゴー型ソルガムとトウモロコシの混播 2 回刈り栽培と比較して、1 番刈りの収穫期は同時期であるが、2 番刈りでは 1 ヶ月程度早くなることから、従来のソルゴー型ソルガムとトウモロコシの混播 2 回刈り栽培の一部をスーダン型ソルガム峰風とトウモロコシの混播 2 回刈り栽培に置き換えることにより、作業分散による作付面積の拡大することができる。

第5章 蹄耕法によるセンチピードグラス (*Eremochloa ophiuroides* (Munro) Hack.) 草地の造成期間中の植生と牧養力

1 目 的

2010年世界農林業センサス（農林水産省 2010）では、全国の耕作放棄地は396,000 haで全耕地面積の10%を占めており、神奈川県でも耕作放棄地は2,600 haあり、県内の耕地面積の17%を占めている。耕作放棄地は年々増加する傾向にあり、神奈川県は神奈川県農業推進条例（2006年4月1日施行）を定めて、耕作放棄地の解消および発生抑制に努めている。しかし、神奈川県では特に販売農家率が低い市町村において、販売農家戸数の減少にともない今後急激に耕作放棄地が増加する可能性が指摘されており（北見 未発表）、耕作放棄地の有効利用による解消が望まれている。

近年、耕作放棄地の有効利用方法として、各地で和牛繁殖牛の放牧利用の取り組みが広く行われており、耕作放棄地の解消による地域への貢献とあわせて、畜産経営においても購入飼料費の低減や家畜管理の省力化などに有効な取り組みとなっている。また、神奈川県で生息地が拡大しているヤマビル (*Haemadipsa zeylanica japonica*) 対策の一つとして、耕作放棄地における和牛繁殖牛の放牧が有効であると提案されている（神奈川県ヤマビル対策共同研究推進会議 2009；引地ら 2010）。

一方、耕作放棄地の放牧利用により一旦農地の荒廃が解消しても、耕作地として利用されないために放牧を中止すると再び荒廃することも多く、そのような土地では継続して放牧利用を求められる事例が多い。耕作放棄地を継続して放牧利用すると、その野草を中心とした植生の生産量は経年的に低下するため、持続的な生産量の維持のためには牧草の導入が必要となる（小山 2003）。

センチピードグラス (*Eremochloa ophiuroides* (Munro) Hack.) は、わが国で

は水田畦畔や法面管理の省力化のための被覆植物としても利用され、また播種による草地造成が可能なことから、温暖地の耕作放棄地において省力的に造成可能なシバ型草種としても注目されている（小山 2003；山本 2005）。そこで、本試験では神奈川県で事例の多い小規模な耕作放棄地を想定し、省力的な草地造成法である蹄耕法によってセンチピードグラス草地の造成を行い、その造成期間中の草地の牧養力および植生の変化について調査した。

2 材料と方法

試験には、神奈川県海老名市（神奈川県畜産技術センター）で草地として利用していた面積 15a の圃場を供試した。供試圃場は、2003 年に春播きで耕起造成されたフェストロリウム（×*Festulolium Braunii*）草地で、2003 年 7 月中旬から 10 月上旬までの期間に、ホルスタイン種育成牛 2 頭を延べ 26 日間放牧した以外は、収穫や草刈り等の草地管理は行わなかった。2004 年における本試験への供試時の植生は、フェストロリウム、ヨモギ（*Artemisia princeps* Pampan.），ギシギシ（*Rumex japonicus* Houtt.）等が優占していた。

2004 年 5 月 31 日から放牧を開始し、放牧により草丈が短くなり地面が確認できるようになったため、放牧を継続しながら 2004 年 6 月 14 日にセンチピードグラスの種子 4 kg/10a を散播した。しかし、干ばつの影響で定着した個体がほとんど観察されなかったため、2004 年 8 月 10 日に 2 kg/10a 追播した。また、造成 1 年目のセンチピードグラスの被度が少なかったため、2005 年 5 月 20 日に 1 kg/10a を追播した。

草地の管理は、2004–2006 年の春から秋まで肉用雌成牛（黒毛和種および交雑種（F1））2 頭を放牧して行った。2005 年のみは、5 月 18 日から 8 月 3 日まで成牛に代え肉用雌育成牛（黒毛和種および F1，6–14 ヶ月齢）2–5 頭を放牧した。放牧は、植生の平均草高が 5 cm 以下になったことを目安に休牧し、草勢回復後

に放牧を再開することを 2004 年では 4 回、2005 年では 6 回、2006 年では 5 回繰り返した。成牛には、放牧日数の延長のため草地内の草量に応じてサイレージまたは乾草を補助飼料として 1 日 1 頭当たり現物で 1.5–5kg 給与した。育成牛には、配合飼料（CP 18.0%，TDN 72.0%）を 1 日 1 頭当たり 1 kg 給与した。補助飼料のサイレージおよび乾草の TDN は、日本標準飼料成分表 2009 年版（農業・食品産業技術総合研究機構 2010）に準拠し、配合飼料の TDN は表示票の記載値を用いた。放牧牛への補助飼料給与量を表 5-1 に示した。

ギンギンを主とした不食過繁地が目立ったため、2005 年 6 月 20 日にその掃除刈りを行い、刈り取ったギンギン等は草地外に持ち出した。また、2006 年 6 月 9 日にはギンギンが繁茂したため、除草剤（アシュラム液剤）を散布して除去した。試験期間中に施肥は行わなかった。

草地内の植生調査は、2004 年 10 月 29 日、2005 年 9 月 30 日および 2006 年 10 月 5 日に行った。植生調査の方法は、草地内の任意の地点に定置枠（1m×1m）を 10 ヶ所設置し、定置枠内の植被度、群落高および出現種数、また草種ごとに被度と草丈を調査し被度および草丈から積算優占度(SDR₂)を求めた（沼田・依田 1957）。なお、入り口付近の定置枠 1 ヶ所は牛道となり裸地化したため、それを除いた 9 ヶ所について集計した。

牧養力は、成雌および 12 ヶ月齢以上の育成牛にカウデー（CD）換算係数 1.0、12 ヶ月齢未満の育成牛には CD 換算係数 0.8 を乗じた延べ頭数から求めた。また、補助飼料の給与量を差し引いた草地のみの牧養力は、補助飼料の TDN 量に成雌牛の維持要求 TDN 量 4.5 kg/日で除した値を延べ放牧頭数から差し引いて求めた（農林水産省畜産局 2000）。

3 結 果

試験期間中の 2004–2006 年の 4 月から 10 月までの月間の有効積算温度（10℃

表5-1 放牧中の補助飼料の給与状況.

年度	給与日数(日)	種	類	総給与量 (kg) ¹	給与量 (kg/頭/日)
2004	31 ²	イタリアンライグラスサイレージ		100	2
		スーダングラス乾草		126	3
2005	52	市販配合飼料 (育成牛のみ)		139	1
2006	74	イタリアンライグラスサイレージ		387	1.5-3
		スーダングラスサイレージ		48	3

¹補助飼料の給与量は現物量で示した.

²うち15日間はイタリアンライグラスサイレージとスーダングラス乾草の両方を給与した.

基準) の推移を図 5-1 に示した。センチピードグラスの生育が旺盛となる 5 月から 9 月までの有効積算温度 (10°C 基準) は, 2004 年では 2,146°C, 2005 年では 2,017°C, 2006 年では 1,980°C であった。

植生調査の結果を表 5-2 に示した。造成初年目 (2004 年) では, 出現種数は 24 種でメヒシバ (*Digitaria ciliaris* Koeler), キハマスゲ (*Cyperus esculentus* L.), フェストロリウムが優占しており, センチピードグラスの被度は 3.3% で SDR₂ による優占順位は 7 位であった。草地の植被率は 27.7% で, 裸地が多かった。造成 2 年目 (2005 年) では, 出現種数は 14 種に減少し, メヒシバ, ギシギシ, センチピードグラスが優占し, センチピードグラスの被度は 12.2% で SDR₂ による優占順位は 3 位であった。草地の植被率は, 66.7% に増加した。造成 3 年目 (2006 年) では, 出現種数は 11 種にさらに減少し, センチピードグラスの被度は 43.9% に増加して SDR₂ による優占順位は 1 位となった。草地の植被率は, 81.7% とさらに増加した。蹄耕法による草地造成により, 造成 3 年目でセンチピードグラスの SDR₂ は 1 位となり, センチピードグラスが優占する草地となった。また, センチピードグラスの被度の増加とともに草地の植被率も増加し, 出現種数は減少した。

放牧の概要を表 5-3 に示した。放牧期間は, 2004 年では 5 月 31 日から 10 月 8 日まで, 2005 年では 4 月 27 日から 10 月 21 日まで, 2006 年では 4 月 19 日から 10 月 4 日までであった。放牧日数は, 2004 年では 80 日間, 2005 年では 101 日間, 2006 年は 115 日間であり, 延べ放牧頭数は 2004 年では成牛 160 頭・日, 2005 年では成牛 110 頭・日, 12 ヶ月齢以上の育成牛 11 頭・日, 12 ヶ月齢未満の育成牛 115 頭・日, 2006 年では成牛 230 頭・日であった。

表 5-1 に示した放牧中の補助飼料の給与量から, 2004 年では, イタリアンライグラスサイレージまたはスーダングラス乾草をそれぞれ現物で 1 日 1 頭当たり 2 または 3 kg を延べ 31 日間給与した。このうち 15 日間は, その両方を朝夕

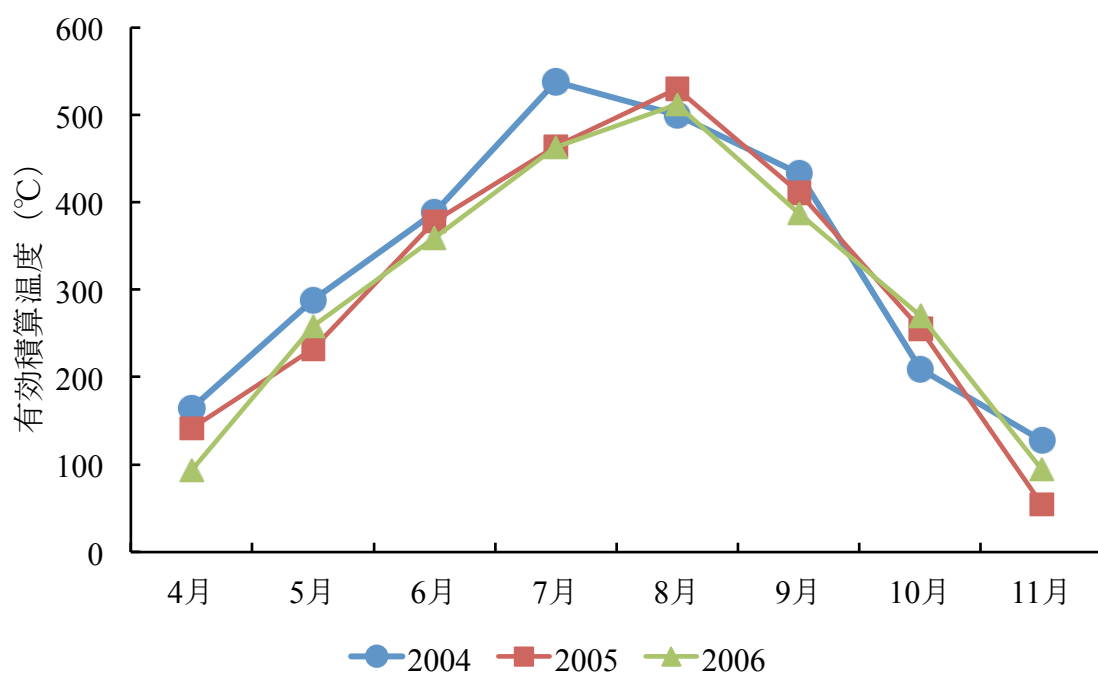


図5-1 造成期間中の月別有効積算温度の推移.

有効積算温度は10°C基準

表5-2 造成期間中の草地の植生の推移.

項目・調査日	2004年10月29日	2005年9月30日	2006年10月5日
植被率 (%)	27.7	66.7	81.7
群落高 (cm)	12.8	13.3	12.2
出現種数	24	14	11
SDR ₂ 1位	メヒシバ (6.0)	メヒシバ (28.3)	センチピードグラス (43.9)
2位	キハマスゲ (4.9)	ギシギシ (10.2)	メヒシバ (15.0)
3位	フェストロリウム (9.4)	エノコログサ (6.7)	ギシギシ (7.8)
4位	エノコログサ (1.2)	センチピードグラス (12.2)	キハマスゲ (11.1)
5位	オオイヌノフグリ (5.4)	カタバミ (5.4)	オヒシバ (6.1)
6位	ギシギシ (2.2)	ヒメムカシヨモギ (0.6)	カタバミ (3.1)
7位	センチピードグラス (3.3)	キハマスゲ (3.9)	シロザ (0.8)
8位	リードカナリーグラス (1.1)	オオイヌノフグリ (1.0)	カキドオシ (4.7)
9位	ヒルガオ (0.8)	リードカナリーグラス (2.2)	エノコログサ (0.2)
10位	ホトケノザ (1.4)	シロザ (1.0)	オオイヌノフグリ (0.7)
SDR ₂ (被度、草丈)	順位で草種右の () 内の数値はその草種の被度 (%) を示す.		

表5-3 造成期間中の放牧概要.

年度	放牧期間	放牧日数 (日)	延べ放牧頭数 (頭・日)	
			成牛	育成牛
2004	5/31-10/8	80	160	-
2005	4/27-10/21	101	110	11
2006	4/19-10/4	115	230	-
				12ヶ月齢以上 12ヶ月齢未満

にわけて給与した。合計の給与量は、イタリアンライグラスサイレージ 100 kg およびスーダングラス乾草 126 kg であった。2005 年では、育成牛にのみ市販配合飼料（CP 18%，TDN 72%）を 1 日 1 頭当たり現物で 1 kg 給与し、合計の給与量は延べ 52 日間で 139 kg であった。成牛には補助飼料は給与しなかった。2006 年では、イタリアンライグラスサイレージまたはスーダングラスサイレージを 1 日 1 頭当たり現物で 1.5–3 kg または 3 kg を延べ 74 日間給与した。合計の給与量はイタリアンリアグラスサイレージ 387 kg およびスーダングラスサイレージ 48 kg であった。

放牧期間中の放牧牛の体重は、成牛では体重をほぼ維持し、育成牛では体重が増加した。育成牛の日増体量（DG）は、月齢が 12 ヶ月齢以上（No.64）では 0.4 kg、12 ヶ月齢未満では 0.6–0.8 kg（No.65, 66, 67, F1）であった（図 5-2, 図 5-3）。

延べ放牧頭数による牧養力は、2004 年では 1,067 頭・日/ha、2005 年では 1,346 頭・日/ha、2006 年では 1,533 頭・日/ha であった。補助飼料の給与量を差し引いた草地のみの牧養力は、2004 年では 939 頭・日/ha、2005 年では 1,198 頭・日/ha、2006 年では 1,363 頭・日/ha であり、草地の牧養力は徐々に増加した（図 5-4）。

4 考 察

中国地方および関東地方の温暖地では、センチピードグラスを蹄耕法により導入した場合、2–4 年後にセンチピードグラスの優占する草地となることが報告されている（小山 2003；山本 2005；山本ら 2006）。センチピードグラス草地を播種して造成する場合の播種量は、0.5–1.0 kg/10a 程度でよいとされているが（山本 2005；原島ら 2006）、本試験では種苗会社の推奨量の 4 kg/10a とした。しかし、播種後の干ばつ等の影響で発芽は観察されたが、定着した個体がほとんど観察されなかったため、8 月に 2 kg/10a を追播した。1 年目の秋におけるセ

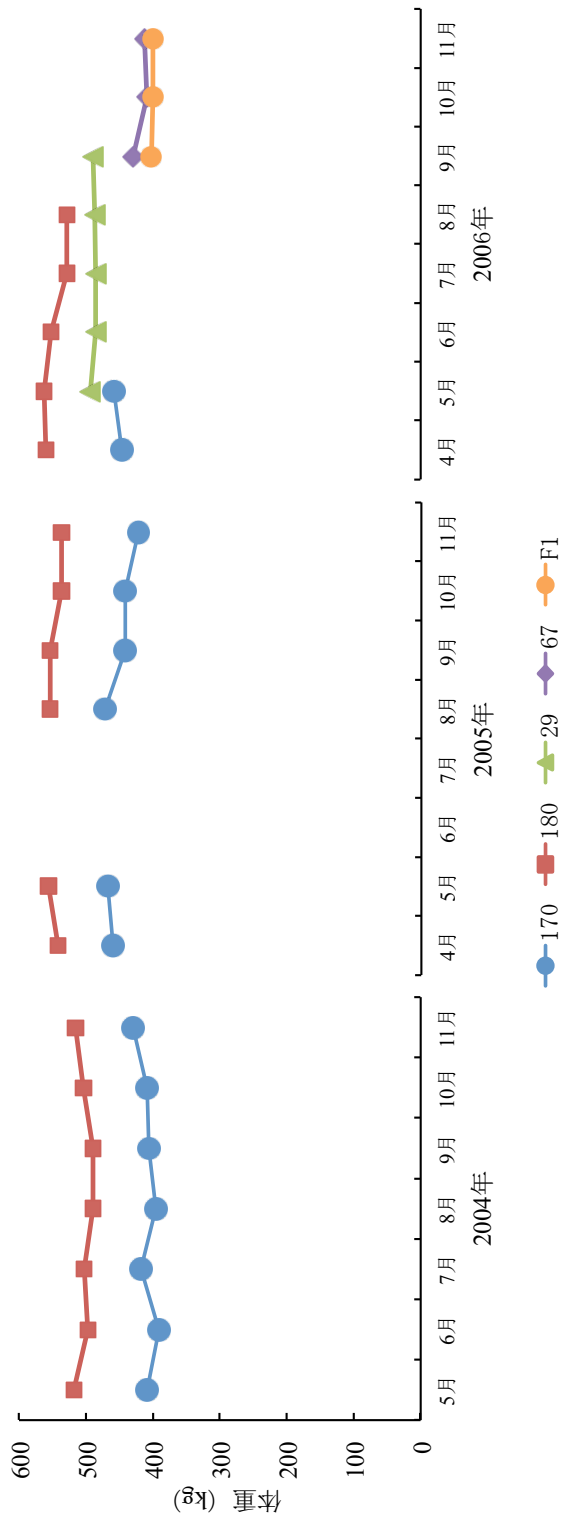


図5-2 放牧期間中の放牧牛の体重の推移 (成牛) .

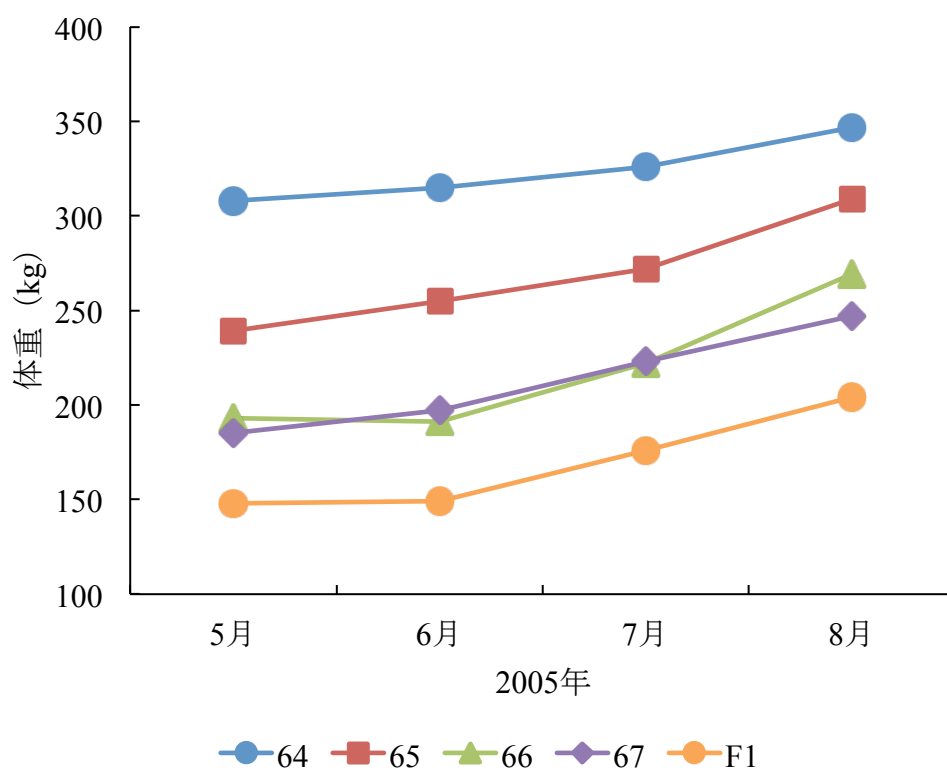


図5-3 放牧期間中の放牧牛の体重の推移（育成牛）。

センチピードグラスの被度は3.3%であり、山本(2005)の試験における0.5 kg/10a播種した場合と同等の被度であり、センチピードグラス導入前の植生であるフェストロリウムやメヒシバが優占する草地であった。2年目以降は、センチピードグラスの被度および草地の植被度は徐々に増加し、出現種数は徐々に減少した。3年目の秋には、センチピードグラスの被度が43.9%でSDR₂1位となり、センチピードグラスが優占する草地となった。造成期間中の草地において、放牧牛は、1年目は前植生のフェストロリウムやメヒシバ等、2年目は主にメヒシバやセンチピードグラス、3年目はセンチピードグラスを主に採食したと考えられた。

暖地型シバ型草地の牧養力は110–843頭・日/haと変動があり、センチピードグラス草地では640–843頭・日/haと報告されている(石田1990; 進藤ら2002; 齊藤ら2004; 日本草地畜産種子協会2005)。本試験での造成期間の牧養力は、1年目では939頭・日/ha、2年目では1,198頭・日/ha、3年目では1,363頭・日/haと徐々に増加し、他の報告と比較して造成1年目から高い牧養力を示した。センチピードグラスの年間の乾物生産量は450–1,200 kg/10a(小山2003; 齊藤ら2004)と条件により大きな差が認められる。松尾ら(2004)は、センチピードグラスの生産量は有効積算温度(10°C基準)と相関があり、有効積算温度が高くなるほど生産量が多くなる傾向があると報告している。本試験では草地の生産量の調査は行っていないが、センチピードグラス草地の造成前には牧草地として利用されており、毎年継続して堆肥も投入されていた肥沃な土壌条件であった。また、試験期間中の5月から9月までの有効積算温度(10°C基準)も1,980–2,150°Cと高い条件であったことが、試験期間では無施肥条件であっても生産量が高く維持され、センチピードグラスの被度の増加とともに牧養力が高くなったと考えられた。

本試験では、放牧日数延長のために補助飼料を給与し、2004年では128頭・

日/ha, 2006年では170頭・日/haの12-14%の牧養力が増加し、放牧日数を延長することができた。ヤマビルは、ニホンジカ (*Cervus nippon*) やイノシシ (*Sus scrofa*) に運搬されて拡散したと推測されている(神奈川県ヤマビル対策共同研究推進会議 2009)。和牛繁殖牛の放牧はイノシシの出現に対する牽制効果もあることから(井出ら 2003), 補助飼料の給与により放牧を延長することは、イノシシ牽制期間も延長されると考えられ、ヤマビル対策にとってはより効果的だと考えられた。

蹄耕法によりセンチピードグラスを導入した場合、造成期間中の草地の植被率およびセンチピードグラスの被度の増加にともない草地の牧養力が増加し、造成3年目でセンチピードグラス主体の草地となった。この手法は、造成期間中も禁牧することなく草地を放牧管理することが可能なため、省力的な手法というメリットに加えて、造成期間中では放牧の実施による飼料費の低減やイノシシ等の野生動物への牽制効果も期待される。今後、造成されたセンチピードグラス草地を継続して放牧利用するためには、各地域におけるセンチピードグラスの生産量の推移や施肥による増産効果などについて検討する必要がある。

小 括

耕作放棄地を放牧利用するため、蹄耕法によるセンチピードグラス草地の造成期間中の植生と牧養力について調査した。フェストロリウムやメヒシバが優占する耕作放棄地に、肉用雌成牛(黒毛和種および交雑種)を放牧して蹄耕法でセンチピードグラス草地を造成したところ、センチピードグラスの秋の被度は、造成初年目は3.3%であったが、造成2年目は12.2%、造成3年目は66.7%と年々増加し、センチピードグラスの被度の増加とともに草地の植被率も増加し、出現種数は減少し、センチピードグラスは造成3年目でSDR₂が1位となっ

た。造成期間中の草地の牧養力は、1年目は939頭・日/ha、2年目は1,198頭・日/ha、3年目は1,363頭・日/haと徐々に増加した。造成期間中、草地の植被率およびセンチピードグラスの被度の増加にともない草地の牧養力が増加し、造成3年目でセンチピードグラス主体の草地となった。

第6章 家畜ふん堆肥の重金属含有量の特性

1 目 的

環境保全型農業の展開にともない、堆肥の施用が注目をあびている。堆肥の製造方法や施用方法については研究蓄積が多くあり、数多くの論文や総説が発表されている（藤原 1988；原田 1990；中央畜産会 2000；山口 1997；有機質肥料品質保全研究会 1994）。しかし、これらは、生産増進を目的とした肥料成分からの研究であり、重金属のように環境に負の影響を調査した研究は少ない。

農耕地の地力維持に利用される家畜ふん堆肥は、農耕地に化成肥料の10倍以上の量が連年施用されるため、重金属の含有量については、特に注意を払う必要がある。家畜ふん堆肥中の重金属含有量については、豚ふん堆肥の亜鉛および銅について報告（磯部・関本 1999a, 1999b）があるが、その他の重金属や家畜ふん堆肥についての報告は少ない。とりわけ、コーデックス委員会（Codex Alimentarius Commission）で議論を呼んでいるカドミウム等の環境汚染重金属について公表されているデータは少なく、このことが家畜ふん堆肥の普及を妨げる原因の一つとなっている。

そこで、本章では神奈川県内で生産されている家畜ふん堆肥の重金属含有量を調査することにより、その含有量の特性や肥料成分との関係について検討した。

2 材料と方法

供試した家畜ふん堆肥は、1989年から1999年までの10年間、神奈川県肥料検査所において分析したものであり、牛ふん堆肥が112点、豚ふん堆肥が32点、鶏ふん堆肥が83点であった。

生産場所から採取した家畜ふん堆肥は、直ちに含水率を測定した後、風乾、

粉碎した。分析は、肥料分析法（農林水産省農業環境研究所 1992）に基づき、灼熱減量（550℃灰化法）、窒素（ケルダール法）、リン酸（バナドモリブデン酸法）、カリウム、カルシウム、マグネシウム、亜鉛、銅、マンガン、カドミウム、鉛（原子吸光法）、水銀（加熱気化法）、ヒ素（ジエチルジチオカルバミン酸銀法）の14成分について分析した。炭素は、千葉県農業科学検査所（1995）の灼熱減量から推測する推定式（炭素=0.52×灼熱減量-0.80）を用いた。

試料の採取の際に製造方法について聞き取り調査し、家畜ふん以外の原料の使用の有無についても併せて調査した。

主成分分析は、亜鉛、銅、マンガン、ヒ素、カドミウム、水銀および鉛の7項目から相関行列を求め計算し、畜種別および副資材別に主成分スコアによる分布図を作成した。

3 結 果

分析結果の概要をまとめた各家畜ふん堆肥の肥料成分含有量を表 6-1 に示した。牛ふん堆肥は水分、炭素および C/N 比が多く、豚ふん堆肥は窒素、炭素が多く、鶏ふん堆肥はリン酸および石灰が高かった。

重金属含有量を表 6-2、亜鉛、銅およびマンガン含有量の分布状況を図 6-1 に示した。

亜鉛は、牛ふん堆肥では 50–250 ppm の区間、豚ふん堆肥では 400–900 ppm の区間、鶏ふん堆肥では 200–600 ppm の区間に全体の 80%程度が属していた。各家畜ふん堆肥の亜鉛含有量の平均値、中央値および最頻値は、牛ふん堆肥では 258 ppm, 156 ppm および 128 ppm, 豚ふん堆肥では 630 ppm, 581 ppm および 500 ppm, 鶏ふん堆肥では 379 ppm, 381 ppm および 380 ppm であった。牛ふんおよび豚ふん堆肥では平均値>中央値>最頻値と、平均値より低いところに多く分布していたが鶏ふん堆肥では、平均値、中央値、最頻値がほぼ同じで、平均値

表6-1 家畜ふん堆肥の畜種による肥料成分含有量の違い.

成 分	牛ふん堆肥 (n=112)	豚ふん堆肥 (n=32)	鶏ふん堆肥 (n=83)
水分 (%)	56.7 c	35.8 b	25.9 a
窒素 (%)	2.3 a	3.8 c	2.7 b
リン酸 (%)	2.2 a	5.3 b	6.3 c
カリ (%)	2.8 b	2.2 a	3.0 b
石灰 (%)	2.8 a	4.6 b	16.9 c
苦土 (%)	1.2 a	1.4 ab	1.5 b
炭素 (%)	38.3 b	40.9 b	24.5 a
C/N比	1.9 b	1.1 a	0.9 a

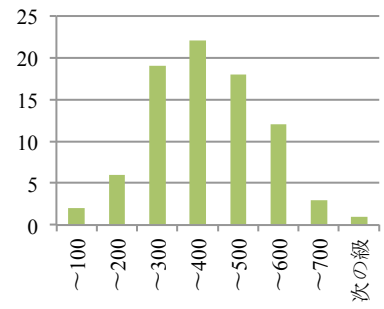
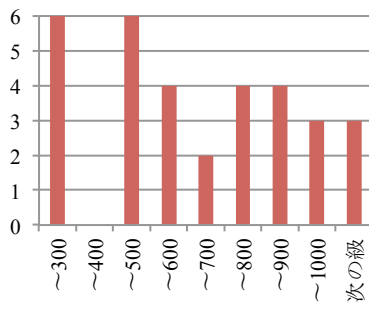
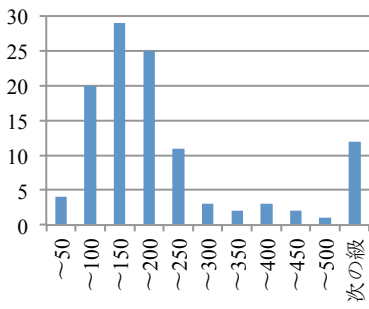
¹水分は現物, その他の成分は乾物換算値.

²成分内の異符号間には5%水準で有意差があることを示す.

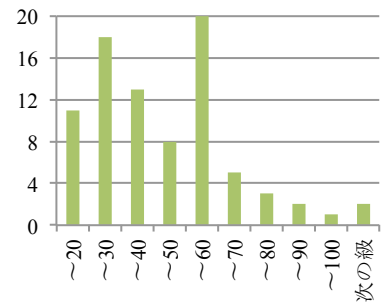
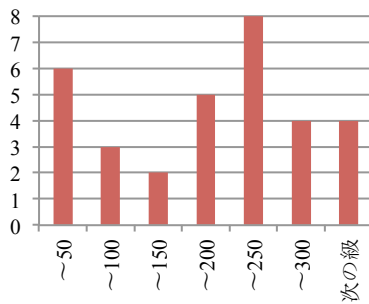
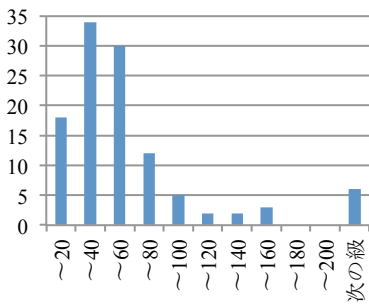
表6-2 家畜ふん堆肥の畜種による重金属含有量の違い.

種 類	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Hg (ppm)	Pb (ppm)	
牛ふん堆肥 (n=112)	平均	258.0	72.6	350.5	1.5	0.4	0.1	9.5
	標準偏差	376.8	146.1	195.7	2.2	0.4	0.1	18.0
	中央値	156.1	42.0	301.2	0.9	0.3	0.0	4.4
	最頻値	127.8	36.0	252.5	0.7	0.3	0.0	0.5
	最小値	30.3	3.1	89.3	0.0	0.0	0.0	0.0
最大値	3,197.8	1,335.7	1,322.1	18.7	2.9	0.3	105.6	
豚ふん堆肥 (n=32)	平均	629.9	184.8	377.4	0.6	0.5	0.1	6.6
	標準偏差	269.9	106.6	167.2	0.6	0.3	0.1	12.3
	中央値	581.3	194.7	384.3	0.5	0.5	0.1	3.4
	最頻値	500.0	233.3	380.0	0.2	0.6	0.0	1.0
	最小値	227.7	27.8	60.9	0.0	0.0	0.0	0.0
最大値	1,166.7	414.7	791.1	2.6	1.3	0.4	70.0	
鶏ふん堆肥 (n=83)	平均	379.2	43.0	353.5	1.2	0.6	0.1	8.2
	標準偏差	137.7	21.5	158.0	1.5	0.5	0.1	12.2
	中央値	381.4	38.7	343.0	0.9	0.6	0.1	5.1
	最頻値	380.0	53.8	225.0	0.6	0.5	0.1	1.3
	最小値	67.9	12.9	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0
最大値	741.4	105.8	861.7	11.6	3.9	0.7	76.2	

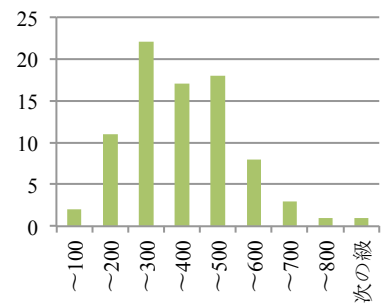
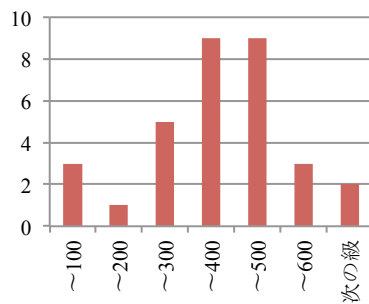
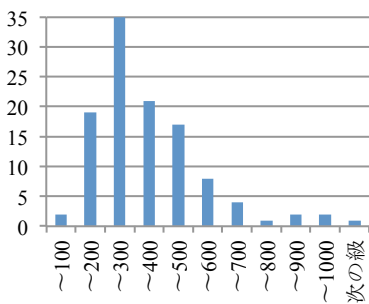
A：亜鉛



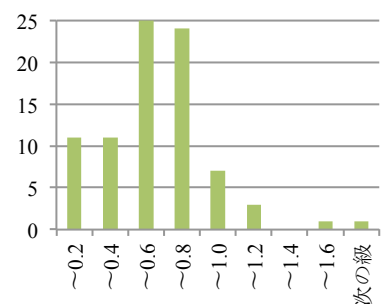
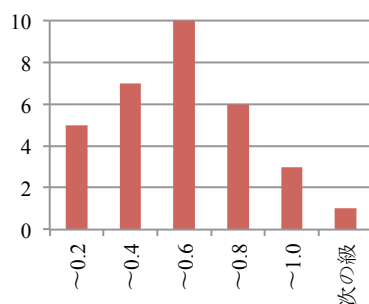
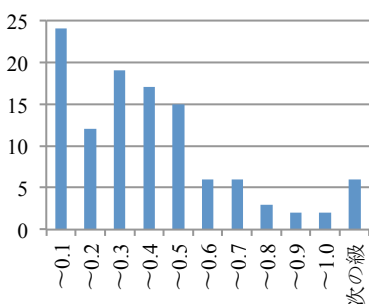
B：銅



C：マンガン



D：カドミウム



■牛ふん堆肥 ■豚ふん堆肥 ■鶏ふん堆肥

図6-1 家畜ふん堆肥の重金属含有量の分布状況。

縦軸：度数，横軸：含有量 (ppm)

を中心として分布していた。最大値は、牛ふん堆肥では 3,198 ppm, 豚ふん堆肥では 1,167 ppm, 鶏ふん堆肥では 741 ppm と一部に高濃度に含有するものがあった。

銅は、牛ふん堆肥では 80 ppm 以下の区間, 豚ふん堆肥では 300 ppm 以下, 鶏ふん堆肥では 60 ppm 以下の区間に 80%以上が属していた。各家畜ふん堆肥の銅含有量の平均値, 中央値および最頻値は、牛ふん堆肥は 72.6 ppm, 42.0 ppm および 36.0 ppm, 豚ふん堆肥では 184 ppm, 195 ppm および 233 ppm, 鶏ふん堆肥では 43.0 ppm, 38.7 ppm および 53.9 ppm であった。牛ふん堆肥では、平均値>中央値>最頻値と平均値より低いところに多く分布していた。豚ふん堆肥では、最頻値>中央値>平均値と平均値より高いところに多く分布していた。鶏ふん堆肥では、最頻値>平均値>中央値と平均値より低いところに多くが分布するが、分布のピークは平均値より高いところに存在した。牛ふん堆肥では、最大値が 1,336 ppm と一部に高濃度に含有するものがあった。

マンガンは、牛ふん堆肥では 100–500 ppm の区間, 豚ふん堆肥では 200–600 ppm の区間, 鶏ふん堆肥では 100–500ppm の区間に 80%以上が属していた。各家畜ふん堆肥のマンガン含有量の平均値, 中央値および最頻値は、牛ふん堆肥では 350 ppm, 301 ppm および 253 ppm, 豚ふん堆肥では 377 ppm, 384 ppm および 380 ppm, 鶏ふん堆肥では 353 ppm, 343 ppm および 225 ppm であった。牛ふん堆肥は、平均値>中央値>最頻値と平均値より低いところに多く分布していた。豚ふんおよび鶏ふん堆肥は、平均値をほぼ中心に分布していた。鶏ふん堆肥では、平均値>中央値>最頻値と平均値よりやや低いところに分布していた。牛ふん堆肥では、最大値が 1,322 ppm と一部に高濃度に含有するものがあった。

ヒ素は、全体的には低値を示し、1 ppm 以下に牛ふんおよび鶏ふん堆肥は 50%以上が属し、豚ふん堆肥では 80%以上が属していた。また、2 ppm 以下には、牛ふんおよび鶏ふん堆肥は 80%以上が属し、豚ふん堆肥ではほぼすべてが属し

ていた。豚ふん堆肥は、全体的に低い値を示したのに対し、牛ふんおよび鶏ふん堆肥は、全体的には低い値を示すものが多いが、一部に 10 ppm を越えるものがあった。

カドミウムは、すべての堆肥で低い値を示し、1 ppm 以下にほぼすべてが属していた。牛ふんおよび鶏ふん堆肥では、一部やや高いものがあったが、問題となる値ではなかった。

水銀は、すべての堆肥で低い値を示し、0.2 ppm 以下にほぼすべての値が属していた。

鉛は、すべての堆肥で、全体的には低い値を示し、10 ppm 以下に 80%が、20 ppm 以下にほぼすべてが属していた。牛ふん堆肥では 105 ppm, 豚ふん堆肥では 70 ppm, 鶏ふん堆肥では 76 ppm と一部に高濃度に含有するものがあった。

今回の調査では、副資材として、おがくず、チップ、コーヒーかす、カカオかす、もみ殻、含油白土、硫酸第一鉄、微生物資材等が使用されていた。これら、副資材は、組み合わせて使用される場合もあるが、使用量が多いものを代表として、おがくずおよびチップの木質系副資材とその他副資材に分類して家畜別に表 6-3 に示した。

牛ふん堆肥では、木質系副資材の使用率は 55.4%で最も多く、一部はコーヒーかすや稲わら、もみ殻、シュレツダー等が組み合わせて使用されていた。その他の副資材としては、コーヒーかす、含油白土、稲わら等が単独で使用されていた。また、牛ふん堆肥の場合、堆肥化処理の過程で副資材を使用していなくても、チップ等の木質を敷き料として飼養している場合もあった。

豚ふん堆肥では、副資材を使用していないものが 68.7%と最も多く、副資材としておがくず、もみ殻、稲わら等が単独で使用されていた。木質系副資材の使用は 9.4%であった。

鶏ふん堆肥は、その他の副資材を使用しているものが 54.2%と最も多く、米

表6-3 家畜ふん堆肥の副資材の利用状況.

種 類	木質系副資材	その他の副資材	使用せず
牛ふん堆肥	62 (55.4)	18 (16.1)	32 (28.5)
豚ふん堆肥	3 (9.4)	7 (21.9)	22 (68.7)
鶏ふん堆肥	13 (15.7)	45 (54.2)	25 (30.1)
合 計	78 (34.4)	70 (30.8)	79 (34.8)

¹数字は点数を示し，（ ）内は割合（%）を示す

ぬか、コーヒーかす、硫酸第一鉄、濃硫酸、含油白土、微生物資材等が単独で
或いは組み合わせにより使用されていた。木質系副資材の使用は 15.7%であっ
た。

主成分の寄与率および因子負荷量を表 6-4 に、畜種および副資材それぞれにつ
いて第 1 および第 2 主成分スコアの散布状況を図 6-2 に示した。畜種または副資
材によるグループ分けはできず、家畜ふん堆肥の重金属含有量は、畜種又は副
資材の種類との間に明確な関係は認められなかったが、高濃度の重金属を含有
し、集団からはずれるものは、畜種別では牛ふん堆肥および鶏ふん堆肥、副資
材については木質系副資材を使用したものが多かった。

4 考 察

水分、窒素、リン酸、カリウム、カルシウム、マグネシウム、C/N 比等の肥
料成分は、各種家畜ふん堆肥ともに既報（原田 1990；山口 1997）とのほぼ同
様な結果であった。

亜鉛、銅およびマンガンは、家畜に必須の栄養素として家畜の飼料に添加さ
れている。特に養豚用飼料では、他の家畜用飼料に比べ亜鉛と銅が多量に添加
される傾向があり、これらを多く含有する堆肥を施用することが土壤汚染の原
因となりうることから、必要以上の亜鉛および銅を養豚用飼料に添加しないよ
う、行政指導されている。本試験では、亜鉛、銅およびマンガンの堆肥の含有
量は、亜鉛では、豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥、牛ふん堆肥の順に多く、銅では豚
ふん堆肥が高く、マンガンでは畜種による差は明確ではなかった。磯部ら（1999）
は、発育の促進等の目的で、豚の飼料中には他の家畜と比べて亜鉛や銅が多く
添加されていることから、豚ふん堆肥中には他の家畜ふん堆肥と比べて、亜鉛
や銅が多く含有されていることを報告している。今回の結果も、豚ふん堆肥は
他の家畜ふん堆肥と比べて亜鉛と銅を多く含有する傾向にあった。家畜ふん堆

表6-4 家畜ふん堆肥の重金属含有量に対する主成分分析による各項目の因子負荷量及び主成分の寄与率.

項目	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6	Z7
Zn	0.181	0.714	0.053	-0.103	0.505	-0.428	0.082
Cu	0.214	0.396	0.684	0.460	-0.102	0.295	0.146
Mn	0.214	0.667	-0.177	-0.208	-0.643	-0.120	-0.086
As	0.808	-0.344	-0.164	-0.047	-0.123	-0.138	0.408
Cd	0.564	0.084	0.127	-0.615	0.201	0.477	-0.110
Hg	0.198	0.331	-0.700	0.443	0.170	0.368	-0.001
Pb	0.787	-0.243	0.104	0.334	0.025	-0.242	-0.374
累積寄与率 (%)	25.0	45.1	60.0	73.6	84.5	94.9	100.0

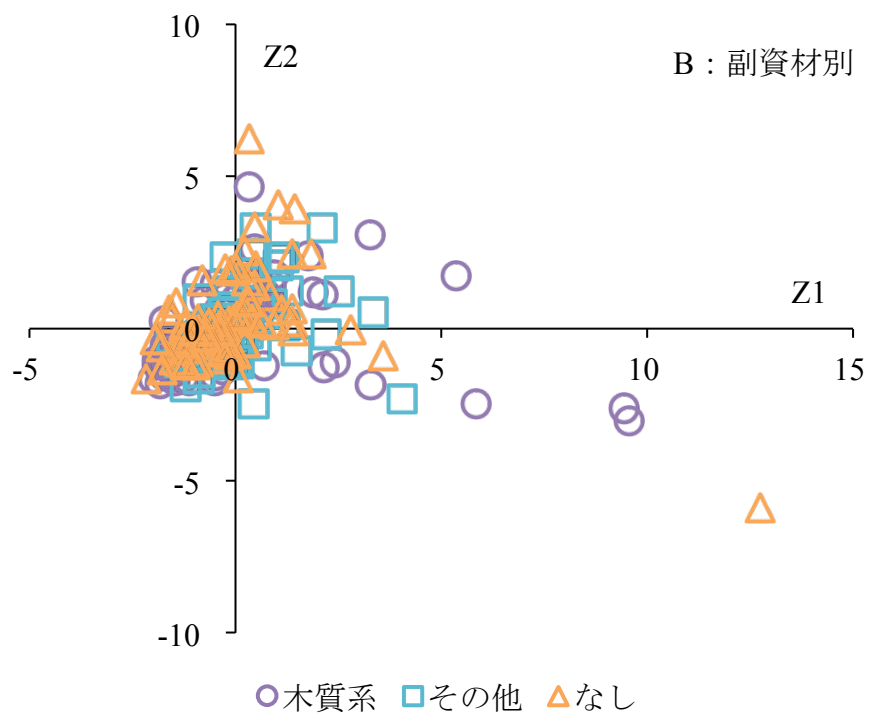
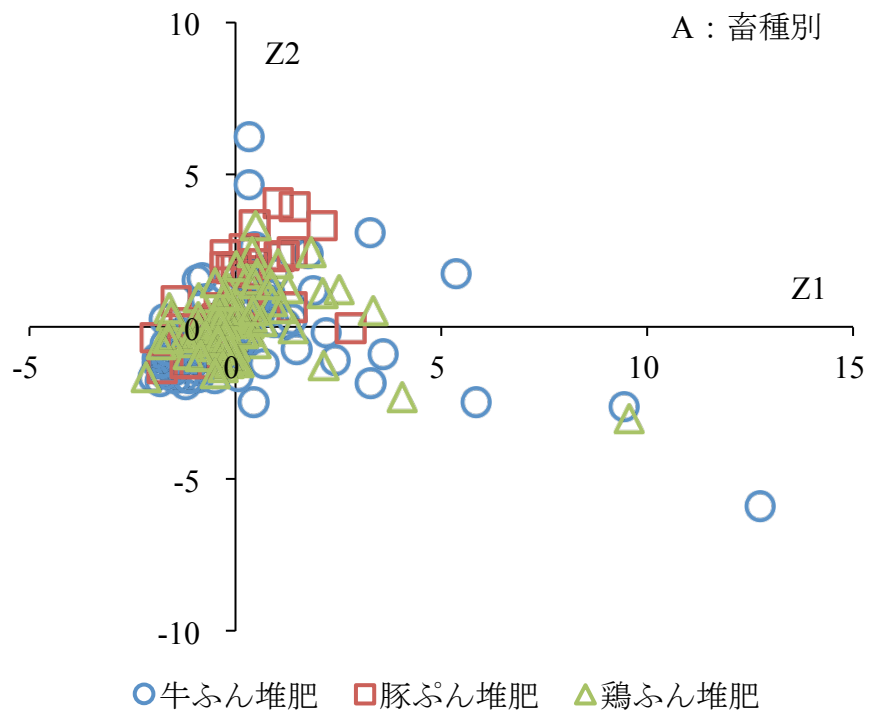


図6-2 主成分スコアによる散布図.

Z1: 第1主成分, Z2: 第2主成分

肥に含有される亜鉛、銅およびマンガンについては、一般的には、飼料に由来するものであることが考えられた。

ヒ素、カドミウム、水銀および鉛は、環境に負荷を与える有害な重金属であり、2000年の肥料取締法の改正は、家畜ふんを原料とした家畜ふん堆肥についても、ヒ素、カドミウムおよび水銀の含有量は、それぞれ乾物当り 50 ppm 以下、5 ppm 以下、2 ppm 以下と規制されていた。しかし、改正後はこの規制がなくなり、特殊肥料から普通堆肥となった汚泥を原料とする肥料については、ヒ素、カドミウム、水銀に加え鉛についても規制値（乾物当り 100 ppm 以下）が設けられた。

ヒ素は、全体的には低値を示し、1 ppm 以下に牛ふんおよび鶏ふん堆肥は 50% 以上が属し、豚ふん堆肥では 80%以上が属していた。また、2 ppm 以下には、牛ふんおよび鶏ふん堆肥は 80%以上が属し、豚ふん堆肥ではほぼすべてが属していた。豚ふん堆肥は、全体的に低い値を示したのに対し、牛ふんおよび鶏ふん堆肥は、全体的には低い値を示すものが多いが、一部に 10 ppm を越えるものがあった。しかし、いずれも問題となる数値ではなかった。

カドミウムは、すべての堆肥で低い値を示し、1 ppm 以下にほぼすべてが属していた。牛ふんおよび鶏ふん堆肥では、一部やや高いものがあったが、問題となる値ではなかった。しかし、カドミウムについては、コーデックス委員会でも議論され、今後、どのような基準となるか注目される問題であり、参考としてその分布状況を図 6-1 に示した。

水銀は、すべての堆肥で低い値を示し、0.2 ppm 以下にほぼすべての値が属していた。鉛は、すべての堆肥で、全体的には低い値を示し、10 ppm 以下に 80% が、20 ppm 以下にほぼすべてが属していた。

このように、家畜ふん堆肥に含有される重金属は、亜鉛および銅が豚ふん堆肥でやや高いものの、カドミウム等の環境汚染金属はほとんど含有せず、一般

的にはその濃度は低く、施肥による土壌汚染の原因とはなりにくいものであることが示された。

しかし、一部の堆肥中には、亜鉛、銅、マンガンおよび鉛が高濃度で含有され、施肥により土壌を汚染する可能性が考えられた。亜鉛は、1000 ppm 以上含有するものが、牛ふん堆肥では4点、豚ふん堆肥では3点あり、この内、牛ふん堆肥の最大値は3198 ppm と非常に高い値であった。銅は、500 ppm 以上含有するものが、牛ふん堆肥では2点あり、最大値は1,336 ppm と非常に高い値であった。マンガンは、800 ppm 以上含有するものが、牛ふん堆肥では5点、鶏ふん堆肥では1点あり、この内、牛ふん堆肥の最大値は1,322 ppm と非常に高い値であった。

下水汚泥肥料（焼却灰を除く）の含有量の最大が、亜鉛で2100 ppm、銅で518 ppm という報告がある（日本環境整備教育センター1995）。また、有機質肥料等推奨基準（有機質肥料品質保全研究会 1994）では、下水汚泥堆肥の品質概要の亜鉛および銅の基準はそれぞれ1800ppm 以下および600ppm 以下となっているが、牛ふん堆肥の最大値は、下水汚泥肥料の含有量をはるかに超え、下水汚泥肥料の有機質肥料等推奨基準の2倍程度となっている。

鉛は、50 ppm を超えるものが牛ふん堆肥では5点、豚ふん堆肥では1点、鶏ふん堆肥では3点あった。この内、牛ふん堆肥の最大値は106 ppm と非常に高い値であり、汚泥肥料の規制値（100 ppm）を超えるものであった。また、規制値を越えないまでも、家畜ふん堆肥の一部は、鉛を高濃度に含有していた。

牛ふん堆肥の亜鉛、銅、マンガンおよび鉛の含有量は、全体的には他の畜種と比べて少ないが、一部高濃度に含有するものがあることがわかった。家畜ふん堆肥に含有される重金属は、飼料の他に堆肥を製造する過程で主に水分調整等の目的で使用される副資材に由来することが推測される。特に、牛ふんは、他に畜種のふんと比べて水分含量が多いことから、製造過程でおがくず等の水

分調整材が使用されている場合が多い。

重金属含有量の主成分分析では、畜種および副資材の種類との間に明確な関係は認められなかったが、高濃度の重金属を含有し、集団からはずれるものは、牛ふんおよび鶏ふん堆肥であり、また副資材を使用していた。副資材については、特に木質系副資材を使用したものが多かった。このことから、一部の堆肥でみられた高濃度に含有された重金属は、一部の木質系副資材に由来する可能性が推測された。木質系副資材によって重金属が増加する原因については、更に検討する必要がある。

以上のことから、家畜ふん堆肥に含有される重金属は、一般的には少ないものであり、その施用により土壤汚染の原因とはなりにくいものであったが、一部に高濃度に含有するものがあった。特に、牛ふん堆肥では、ほとんどのものが低濃度であったが、一部に亜鉛、銅、マンガンおよび鉛について非常に高濃度に含有するものがあった。一般的に窒素等の主成分が少ない牛ふん堆肥は、他の堆肥と比べ多量に施用される傾向があり（日本緑化センター2002）、重金属を高濃度に含有した牛ふん堆肥を多量に施用することは土壤汚染につながる。このことは、家畜ふん堆肥の重金属含有量について、十分にチェックする事が必要であることを意味している。

しかし、家畜ふん堆肥中の重金属含有量は、窒素等の肥料成分や亜鉛等の重金属含有量との相関関係は認められず、一部の成分を分析することにより推定することは困難なことである。

本試験では、副資材に対する詳細な検討は行っていないが、今日、コスト低減や資源リサイクルを目的として多くの種類の未利用資源が使用されている現状を考えると、家畜ふん堆肥に含有される重金属の由来については、副資材を中心に解析し、今後更にデータを蓄積していくことが重要である。また、環境保全型農業として堆肥の施用が促進されている今日、堆肥中の重金属含有量の

モニタリング調査を継続することは、生産環境を守るためには欠かせないことである。

小 括

家畜ふん堆肥の安全性のため、家畜ふん堆肥の重金属含有量の特性について検討した。家畜ふん堆肥に含有される重金属は、亜鉛および銅では、豚ふん堆肥は牛ふんおよび鶏ふん堆肥に比べて多かった。また環境汚染重金属のヒ素、カドミウム、水銀および鉛は、全体的に少なかった。一部の堆肥では、亜鉛、銅、マンガンおよび鉛が高濃度に含有されており、特に、牛ふん堆肥では、最大値が汚泥肥料の推奨基準や法律での規制値を超えるものがあり、土壤汚染の原因とないうる可能性があった。家畜ふん堆肥に含有される重金属は、他の成分との相関関係は認められず、一部の成分を分析して推測することは困難なため、個々の成分について分析する必要がある。コスト低減や資源リサイクルを目的として多くの種類の未利用資源が使用されている現状から、家畜ふん堆肥に含有される重金属の由来については、今後更にデータを蓄積していくことが重要であり、堆肥中の重金属含有量のモニタリング調査を継続して行う必要がある。

第7章 総合考察

我が国における畜産業は、国民の生活を支える重要な産業として位置づけられている。一方、家畜に給与される飼料の多くを輸入に依存しているが、輸入飼料の価格は高止まりの傾向が続いており、今後さらに高騰することが懸念されている。このような情勢の中、輸入飼料の価格の変動や供給に翻弄されない畜産経営のため、農林水産省では、2025年度の飼料自給率を40%まで向上する目標を定めており、粗飼料では100%の自給率を目指している（農林水産省生産局畜産部飼料課 2017）。矮小な面積の圃場が点在し、区画整備による規模拡大が難しい関東南部においては、土地生産性に優れた飼料作物の作付体系の導入による単収の向上、省力的飼料作物の生産による作付面積の拡大、自給飼料の利用拡大のためのサイレージ品質の改善、耕作放棄地を利用した自給飼料生産、循環型農業を推進するために家畜ふん堆肥の安全性の確保等の課題の解決が求められている。

第2章では、土地生産性の高い飼料作物栽培体系としてサイレージ用トウモロコシ二期作の安定栽培方法について検討した。関東南部において、トウモロコシと冬作物のイタリアンライグラスやムギ類を組み合わせた二毛作が、土地生産性を最大にする作付体系として採用されてきた。近年の温暖化の影響により、より土地生産性の高い作付体系としてこれまで九州地方等の暖地の作付体系と考えられてきたトウモロコシ二期作が試みられるようになってきた。以前からトウモロコシ二期作が行われている九州地域等の暖地では、1作目は早生から中生品種を3月から4月に播種して7月から8月に収穫し、2作目は晩生品種を7月から8月に播種して11月から12月に収穫する栽培方法が採用され、年間の乾物収量は3t/10aを超える多収な作付体系となっている（加藤 2016）。し

かし、関東南部では、安定栽培の成立する条件が不明確であり、このことがトウモロコシ二期作導入の妨げとなっている。

本研究では、関東南部におけるトウモロコシ二期作として、1作目にRM100程度の極早生品種を4月上旬に播種して7月下旬に収穫し、2作目に有効積算温度が1,200°Cで乾物率が28%となるRM125-135程度の中生から晩生品種を8月上旬に播種して11月下旬から12月上旬に収穫することにより、1作目、2作目ともに黄熟期で収穫でき、安定栽培が可能になることを示した。この栽培方法では、トウモロコシ二期作の年間の乾物収量は3,378 kg/10a、TDN収量は2,443kg/10aであり、今まで多収な作付体系とされていたトウモロコシとイタリアンライグアラスの二毛作と比較して、乾物収量では18%、TDN収量では26%多収な、土地生産性に優れた作付体系であった。

関東南部におけるトウモロコシ二期作では、1作目の収穫から2作目の播種までの期間が極めて短く、2作目の栽培期間を確保するため、2作目に不耕起栽培を導入することが安定栽培のため有効な方法となる。本研究において、トウモロコシ二期作の堆肥の施肥方法について検討したところ、試験圃場における小区画の試験では、1作目に年間の堆肥をまとめて施用するより、作付けごとに堆肥を施用した方が乾物収量は多収となった。しかし、生産圃場における実規模の試験では、堆肥を作付けごとに施用した場合、1作目の収穫後に堆肥の散布と耕うんの作業が必要であり、2作目の播種が遅れることから、作付けごとに堆肥を施用すると乾物収量は減少した。このため、本研究では、関東南部におけるサイレージ用トウモロコシ二期作の施肥方法として、1作目の作付け前に年間の堆肥施用量をまとめて施用して、2作目は化学肥料のみ施用する方法を示した。

暖地におけるトウモロコシ二期作では、2作目の栽培期間を確保するため広く不耕起栽培が導入されている（原田ら 2009, 加藤 2011, 加藤 2016）。本研究において、2作目の播種が遅くなるほど登熟は進まず乾物率が高くなったため、

暖地と同様に不耕起栽培を導入して 2 作目の栽培期間を確保することが、安定栽培するために有効な手段となる。都市近郊で農業を営む関東南部では、農地の近隣に住宅も多く、堆肥散布後に耕うんを行わない不耕起栽培では、臭気等の環境問題の発生が心配される。このため、本研究で示した、1 作目の作付け前に年間の堆肥施用量をまとめて施用する施肥方法は、2 作目に不耕起栽培するために有効な施肥方法となる。

トウモロコシ二期作は、多収なことに加えて播種および収穫に必要な機械装備がトウモロコシ用のみでよいため、自給飼料の生産費の中で多くの割合を占める機械購入費や修理費等の費用を削減できるメリットを持つことから、トウモロコシ二期作を導入すると、土地生産性が向上して自給飼料を増産することができると考えられた。

第 3 章では、サイレージ品質の改善方法として、登熟不足の夏播きトウモロコシのサイレージ調製のための収穫適期について検討した。トウモロコシ二期作は、近年の温暖化により関東地方等の温暖地においても多収な作付体系として導入されており、菅野ら (2013) は、1999 年から 2008 年の 10 年間のアメダスデータから、関東南部および房総半島の沿岸部では、8 月 1 日から 11 月 20 日までの 10°C 基準の有効積算温度が 1,200°C を超え、トウモロコシ二期作が安定的に栽培可能な二期作適地、関東中部から房総半島では、有効積算温度 1,100–1,200°C であり、冷涼年には 2 作目の登熟不足が懸念される二期作限界地帯としている。

神奈川県や千葉県 (房総半島) の沿岸部の栽培適地においても 1 作目の収穫から 2 作目の播種までの期間が短期間であるため、天候や共同作業の都合により、2 作目の播種が遅れて収穫時に登熟不足となる事例も散見される (菅野ら 2011 ; 菅野ら 2013 ; 折原 2014)。登熟不足となったトウモロコシは、収穫時に

高水分となり、サイレージ品質の低下を招く原因となる（野中 2014；大下ら 2005）。

本研究では、登熟不足で高水分となった夏播きトウモロコシは、立毛貯蔵中の水分含量や単少糖含量から、緑度は残るが葉には乾燥をともなう萎れがみられる程度の時期までの立毛貯蔵することにより、水分含量を調整して排汁による養分損出を軽減し、高品質なサイレージ調製が可能であることを示した。

サイレージ調製では、原料草が高水分である場合、乳酸菌よりも酪酸菌が活発に活動し、原料草のタンパク質がアンモニア等に分解され、不良発酵したサイレージとなりやすくなる。酪酸含量の多い不良発酵したサイレージを給与した場合、採食量の低下やケトーシス発生の要因となることが指摘されており、注意が必要である（古谷 2011）。また、不良発酵サイレージの給与により、臨床性乳房炎の発生となる事例も報告されている。この原因として、酪酸等の不良発酵有機酸の摂取により肝機能が低下することにより、免疫力が低下し乳房炎の罹患が増加すると推測されている（古谷 2011）。このように、自給飼料の利用を促進するためには、生産量とあわせてその品質も重要であり、良質な発酵品質のサイレージ調製を心がける必要がある。

第 4 章では、省力的で多収な飼料作物栽培体系として、ソルガム類を活用したコントラクター等に適した省力的多収飼料生産について検討した。トウモロコシとソルガムの混播 2 回刈り栽培は、1 回の播種で 2 回の収穫が可能な省力的多収な飼料作物栽培技術として、関東以西の温暖地および暖地の一般的な栽培方法として普及している。関東地方におけるトウモロコシとソルガムの混播 2 回刈り栽培では、早生から早中生品種のトウモロコシとソルゴー型または兼用型ソルガムを組み合わせた栽培方法が一般的である。収穫物がソルガム再生草のみとなる 2 番刈りでは、サイレージを調製するためには水分が高いため、高

品質サイレージの調製は困難となるため、立毛貯蔵して水分調整する方法がとられている（青木ら 2004；井上ら 1989；木原ら 1991；米本ら 2003）。

スーダン型ソルガムの新品種峰風は、スーダン型ソルガムとして数少ない乾性の特性を持つ（清沢 2015）。このため、本研究ではトウモロコシとソルガム混播 2 回刈り栽培において、収穫時の水分が調整しやすく、高品質サイレージの生産に適すると考えられたため、スーダン型ソルガム新品種峰風とトウモロコシの混播について検討した。関東南部におけるトウモロコシとスーダン型ソルガム峰風の混播 2 回刈り栽培では、従来のソルゴー型や兼用型ソルガム品種とトウモロコシとの組み合わせと異なり、組み合わせるトウモロコシ品種は極早生品種として、旬間の日平均気温が 13°C 程度の時期に、トウモロコシは 7,000 本/10a 程度の栽植密度、ソルガムの播種量は 0.5kg/10a（栽植密度 15,500 本/10a）の割合で播種して、1 番刈りはトウモロコシの黄熟期、2 番刈りはソルガム再生草の糊熟期に収穫する栽培方法が適することを示した。

しかし、関東南部におけるトウモロコシとスーダン型ソルガム峰風の混播 2 回刈り栽培の年間収量は、乾物収量では 3,178kg/10a、TDN 収量では 1,908kg/10a であり、トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作と比較して乾物収量では 7%、TDN 収量では 2%それぞれ多かったが、従来のトウモロコシとソルゴー型ソルガムの混播およびトウモロコシ二期作と比較して、乾物収量では 6%および 12%、TDN 収量では 11%および 24%それぞれ少なかったことから、土地生産性の向上を求めた場合には、導入しづらい栽培体系であった。

一方、トウモロコシとスーダン型ソルガム峰風の 2 回刈り栽培の労働生産性は、1 番刈りでは 3.00DMkg/分、2 番刈りでは 6.06 DMkg/分、年間合計では 3.39DMkg/分であり、1 作目はトウモロコシ二期作およびトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作と同程度であったが、2 作目の収量は少ないものの作業時間が短く労働生産性は高かったため、年間の労働生産性はトウモロコシとイ

タリアンライグラスの二毛作より 21%高く、トウモロコシ二期作より 8%低かったが、労働生産性の高い作付体系であることを示した。トウモロコシとスーダン型ソルガム峰風の混播 2 回刈り栽培は、トウモロコシとソルゴー型ソルガムの混播 2 回刈り栽培と比較して 1 番刈りの収穫期は同時期であるが、2 番刈りの収穫期は 1 ヶ月程度早くなる。このことは、トウモロコシとソルガムの混播 2 回刈り栽培適地では、従来のトウモロコシとソルゴー型ソルガムの混播 2 回刈り栽培の一部に、スーダン型ソルガム峰風のトウモロコシとの混播に置き換えることにより作業分散が可能となり、コントラクターでは作業分散による請負面積の拡大により、作付面積の拡大が可能となると考えられた。

第 5 章では、耕作放棄地の放牧利用のため、蹄耕法によるセンチピードグラス草地の造成期間中の植生と牧養力について検討した。耕作放棄地は、国内の各地で年々増加する傾向にあり、関東南部においても同様な傾向である。耕作放棄地の有効利用方法として、各地で黒毛和種繁殖雌牛の放牧利用の取り組みが広く行われており、耕作放棄地の解消による地域への貢献とあわせて、畜産経営においても購入飼料費の低減や家畜管理の省力化などに有効な取り組みとなっている。本研究では、耕作放棄地に蹄耕法によりセンチピードグラスを導入した場合、造成期間中の草地の植被率およびセンチピードグラスの被度の増加にともない草地の牧養力が増加し、導入 3 年目でセンチピードグラス主体の草地となることを示した。

センチピードグラスは、播種による草地造成が可能なことから、温暖地の耕作放棄地において省力的に造成可能なシバ型草種としても注目されており（小山 2003；山本 2005）、本研究で採用した蹄耕法による造成方法は、造成期間中も禁牧することなく草地を放牧管理することが可能なため、省力的な手法というメリットに加えて、造成期間中では放牧の実施による飼料費の低減やイノシ

シ等の野生動物への牽制効果も期待される。

一旦、耕作放棄地となってしまった農地の復元には、多大な労力と費用が必要である。耕作放棄地の解消のため、各地で取り組みが広がっている黒毛和種繁殖牛の放牧利用のメリットとして、飼料自給率の向上、地域の景観の保全、獣害の抑制等の効果等に加えて、農地への復元が容易になることが示されている。このように、耕作放棄地を放牧利用して、センチピードグラス草地を造成して利用しながら農地への復元を目指すことは、耕作放棄地の解消に有効な手段であると考えられる。

第6章では、循環型農業を推進するために家畜ふん堆肥の安全性を確保するため、家畜ふん堆肥の重金属含有量の特徴について検討した。酪農経営では、一般的に経営内から排出される家畜排泄物を畑地に還元し、自給飼料の生産を行う循環型農業が行われている。家畜ふん堆肥等の家畜排泄物は、化学肥料の10倍以上の量が連年施用され、含有される有害物は畑地に蓄積されることから特に注意を払う必要がある。

本研究では、家畜ふん堆肥に含有される重金属は、一般的には少ないものであり、その施用により土壤汚染の原因とはなりにくいものであることを示した。一方、牛ふん堆肥では、一部に亜鉛では、銅、マンガンおよび鉛について非常に高濃度に含有するものがあり、多量に施用することにより土壤汚染が生じることが懸念されることを指摘した。

家畜ふん堆肥に高濃度に含有された重金属は、一部の木質系副資材に由来する可能性が推測され、コスト低減や資源リサイクルを目的として多くの種類の未利用資源が使用されている現状を考えると、水分調整に利用するおがくず等の副資材については、入手時にその由来に注意を払う必要がある。あわせて、海外で使用された農薬の成分であるクロピラリドが、輸入粗飼料を經由して牛

ふん堆肥中に残留し、園芸作物の生育障害の原因となることから、園芸農家では、牛ふん堆肥の利用を躊躇する事例も散見される。これらのことから、家畜排泄物を円滑に処理するためにも、堆肥の安全性についても考慮することが望まれる。

以上に述べたように、関東南部における土地の有効活用に基づいた自給飼料生産方法を開発するため、本研究では、第 2 章では、サイレージ用トウモロコシ二期の安定栽培方法について、トウモロコシ二期作の品種の組み合わせ、トウモロコシ二期作の施肥方法およびトウモロコシ二期作の土地生産性について明らかにし、サイレージ用二期作の導入により土地生産性が向上することを示した。第 3 章ではソルガム類を活用したコントラクター等に適した省力的多収飼料生産技術について、ソルガム新品種を活用したトウモロコシとソルガム混播栽培方法、ソルガム新品種を活用したトウモロコシとソルガム混播の収量性およびトウモロコシとソルガム混播の作業性を明らかにし、ソルガム新品種峰風を活用したトウモロコシとソルガム混播栽培を導入することにより、作業分散が可能となりコントラクター組織では作業受託面積を拡大することによる自給飼料作付面積が拡大できることを示した。第 4 章では登熟不足の夏播きトウモロコシのサイレージ調製のための収穫適期について、高品質サイレージ調整のための収穫期を明らかにし、サイレージ品質を改善して自給飼料の効率的が可能になることを示した。第 5 章では耕作放棄地の放牧利用するため、蹄耕法によるセンチピードグラス草地の造成期間中の植生と牧養力を明らかにして、耕作放棄地を放牧利用しながら省力的に草地造成できることを示した。第 6 章では家畜ふん堆肥の重金属含有量の特性として、家畜ふん堆肥に含まれる重金属含有量について明らかにし、循環型農業を継続するための家畜ふん堆肥の安全性についても考慮する必要があることを示した。

これらの成果は、関東南部における新しい作付体系の導入による土地生産性の向上、作業分散による作付面積の拡大、耕作放棄地の活用方法、循環型農業における家畜ふん堆肥の利用上の留意点等などにより、土地を有効活用した自給飼料生産について貢献するとともに、安定した酪農経営に寄与する技術だと考えられる、

近年、世界的に地球温暖化が進行し、生態系や農業生産性に与える影響が顕著化している。自給飼料の生産においては、温暖化により暖地の作付体系であったトウモロコシ二期作が関東南部においても可能になり、今後栽培適地が拡大するなどプラスの面もあるが、集中豪雨や台風の大型化、病害虫の発生地域が拡大される等マイナスの面でも大きな影響が考えられる。今後、関東南部において土地利用型酪農を推進して自給飼料の生産をするため、土地生産性の向上はもとより、作業分散や気象災害からの危険分散方法も考慮した技術開発が望まれる。

第8章 摘 要

関東南部における土地の有効活用に基づいた自給飼料生産方法を開発するため、土地生産性の高い飼料作物栽培方法、サイレージ品質の改善方法、省力的な飼料作物の多収栽培方法、耕作放棄地を利用した自給飼料生産および家畜ふん堆肥の安全性について検討したところ、以下に示す成績を得た。

土地生産性の高い飼料作物栽培方法として、サイレージ用トウモロコシ二期作について検討した。関東南部におけるトウモロコシ二期作は、1作目に RM100 の品種を4月上旬に播種して7月下旬に収穫し、2作目に有効積算温度が 1,200°C で乾物率が 28%となる RM125-135 の品種を8月上旬に播種して11月下旬から12月上旬に収穫することにより、1作目、2作目ともに黄熟期で収穫でき、安定栽培が可能になることが明らかになった。安定栽培のため、2作目には不耕起栽培を導入することが有効であり、そのための施肥方法として、1作目の作付け前に年間の堆肥施用量である 8t/10a を施用し、1作目には耕起して硫安 48kg/10a、2作目には不耕起播種して硫安 48kg/10a 施用する施肥方法が適することを示した。関東南部におけるトウモロコシ二期作の年間収量は、乾物収量では 3,378 kg/10a、TDN 収量では 2,443kg/10a であり、トウモロコシとイタリアンライグラスと比較して、乾物収量では 18%、TDN 収量では 26%多収であり、土地生産性の高い飼料作物栽培体系である。

サイレージ品質の改善のため、登熟不足の夏播きトウモロコシのサイレージ調製のための収穫適期について検討した。播種が遅れた夏播きトウモロコシは、立毛貯蔵して被霜しても乾物収量は変化しなかったが、乾物率および乾物中雌穂重割合は、収穫日が遅くなるほど増加する傾向が見られ、晩秋に登熟不足で

高水分な条件となっても、立毛貯蔵で収穫期を調整して水分含量を調整することにより、排汁による養分損出を軽減することが可能であることを示した。一方、立毛貯蔵により単少糖含量は減少するため、緑度が失われて立ち枯れする以降までの立毛貯蔵は望ましくないことから、登熟不足の夏播きトウモロコシの収穫適期は、立毛貯蔵で緑度は残るが葉には乾燥をとまなう萎れがみられる程度の時期とすることが望ましいと考えられた。

省力的で多収な飼料作物栽培体系として、ソルガム類を活用したコントラクター等に適した省力的多収飼料生産について検討した。スーダン型ソルガム新品種峰風とトウモロコシの混播 2 回刈り栽培体系では、組み合わせるトウモロコシ品種は RM110 以下の極早生品種とし、播種はトウモロコシでは 7,000 本/10a 程度の栽植密度、ソルガムはトウモロコシと組み合わせて、ソルガムの播種量は 0.5kg/10a (栽植密度 15,500 本/10a) の割合で、旬間の日平均気温が 13℃程度の時期には播種する。1 番刈りはトウモロコシの黄熟期、2 番刈りはソルガム再生草の糊熟期に収穫する栽培方法を開発した。開発した峰風とトウモロコシの混播 2 回刈り栽培の年間収量は、乾物収量では 3,178kg/10a、TDN 収量では 1,908kg/10a であり、トウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作と比較して乾物収量では 7%、TDN 収量では 2%多かったが、従来のソルゴー型ソルガム品種とトウモロコシとの混播およびトウモロコシ二期作と比較して、乾物収量では 6%および 12%、TDN 収量では 11%および 24%少なかった。しかし、労働生産性は 3.39DMkg/分であり、トウモロコシ二期作より 8%低かったがトウモロコシとイタリアンライグラスの二毛作より 21%高く、労働生産性の高い作付体系であった。従来のソルゴー型ソルガムとトウモロコシの混播 2 回刈り栽培と比較して、1 番刈りの収穫期は同時期であるが、2 番刈りでは 1 ヶ月程度早くなることから、従来のソルゴー型ソルガムとトウモロコシの混播 2 回刈り栽培の一

部をスーダン型ソルガム峰風とトウモロコシの混播 2 回刈り栽培に置き換えることにより、作業分散による作付面積の拡大することができる。

耕作放棄地を放牧利用のするため、蹄耕法によるセンチピードグラス草地の造成期間中の植生と牧養力について調査した。フェストロリウムやメヒシバが優占する耕作放棄地に、肉用雌成牛（黒毛和種および交雑種）を放牧して蹄耕法でセンチピードグラス草地を造成したところ、センチピードグラスの秋の被度は、造成初年目は 3.3%であったが、造成 2 年目は 12.2%，造成 3 年目は 66.7%と年々増加し、センチピードグラスの被度の増加とともに草地の植被率も増加し、出現種数は減少し、センチピードグラスは造成 3 年目で SDR_2 が 1 位となった。造成期間中の草地の牧養力は、1 年目は 939 頭・日/ha，2 年目は 1,198 頭・日/ha，3 年目は 1,363 頭・日/ha と徐々に増加した。造成期間中、草地の植被率およびセンチピードグラスの被度の増加にともない草地の牧養力が増加し、造成 3 年目でセンチピードグラス主体の草地となった。

家畜ふん堆肥の安全性のため、家畜ふん堆肥の重金属含有量の特性について検討した。家畜ふん堆肥に含有される重金属は、亜鉛および銅では、豚ふん堆肥は牛ふんおよび鶏ふん堆肥に比べて多かった。また環境汚染重金属のヒ素、カドミウム、水銀および鉛は、全体的に少なかった。一部の堆肥では、亜鉛、銅、マンガンおよび鉛が高濃度に含有されており、特に、牛ふん堆肥では、最大値が汚泥肥料の推奨基準や法律での規制値を超えるものがあり、土壤汚染の原因とないうる可能性があった。家畜ふん堆肥に含有される重金属は、他の成分との相関関係は認められず、一部の成分を分析して推測することは困難なため、個々の成分について分析する必要がある。コスト低減や資源リサイクルを目的として多くの種類の未利用資源が使用されている現状から、家畜ふん堆肥

に含有される重金属の由来については、今後更にデータを蓄積していくことが重要であり、堆肥中の重金属含有量のモニタリング調査を継続して行う必要がある。

本研究では、関東南部において、サイレージ用トウモロコシ二期作を導入することにより土地生産性が向上すること、ソルガム新品種峰風を活用したトウモロコシとソルガム混播栽培を導入することにより、作業分散が可能となりコントラクター組織では作業受託面積を拡大することによる自給飼料作付面積が拡大できること等から自給飼料の増産が可能となること。登熟不足の夏播きトウモロコシのサイレージ調製のための収穫適期を示すことにより、サイレージの品質改善が可能となり、自給飼料の効率的な利用が可能になること。耕作放棄地でセンチピードグラスを蹄耕法による草地造成では、放牧を継続しながら耕作放棄地を利用した自給飼料生産方法について示した。家畜ふん堆肥の重金属含有量を明らかにすることにより、循環型農業を継続するための家畜ふん堆肥の安全性についても考慮する必要があることを示した。これらの成果は、関東南部における土地を有効活用した自給飼料生産に貢献するとともに、安定した酪農経営に寄与する技術だと考えられる。

近年、世界的に地球温暖化が進行し、生態系や農業生産性に与える影響が顕著化している。自給飼料の生産においては、温暖化により暖地の作付体系であったトウモロコシ二期作が関東南部においても可能になり、今後栽培適地が拡大するなどプラスの面もあるが、集中豪雨や台風の大型化、病害虫の発生地域が拡大される等マイナスの面でも大きな影響が考えられる。今後、関東南部において土地利用型酪農を推進して自給飼料の生産をするため、土地生産性の向上はもとより、作業分散や気象災害からの危険分散方法も考慮した技術開発が望まれる。

謝 辞

本論文は、神奈川県畜産技術センター（畜産研究所，畜産技術所）および肥料検査所在籍中の研究成果をとりまとめたものである。

論文の作成と提出にあたり，東京農業大学大学院生物産業学研究科相馬幸作教授にはご指導を賜り，また論文の審査にあたっては，全くの面識もないなかで快く主査をお引き受けいただきました。ここに深謝の意を表します。東京農業大学 増子孝義 名誉教授には，論文の作成が遅々として進まないなか，激励とともに懇篤なるご指導とご校閲の労をいただきました。論文の審査にあたっては，副査をお引き受けいただきました。ここに深謝の意を表します。東京農業大学大学院生物産業学研究科伊藤博武教授，平山博樹教授には，貴重なご助言をいただくとともに，論文の審査にあたっては副査をお引き受けいただきました。ここに感謝の意を表します。

研究の実施にあたっては，農研機構畜産研究部門 菅野勉博士，山本嘉人博士，藤原俊六郎氏から，それぞれ貴重なご助言をいただくとともに，懇切丁寧なご指導をいただきました。ここに感謝の意を表します。

神奈川県畜産技術センター（畜産研究所，農業技術センター畜産技術所）における研究成果は，現業職員の協力なしには得ることができませんでした。特に，圃場の管理，炎天下の中の連日の収穫作業，思いつくままの実験計画にともなう膨大な栽培試験などの作業を頂いた。野口洋昌氏，細谷幸司氏，大西宣成氏，濱田光男氏，金子悦史氏始め職員の皆様に感謝いたします。

引用文献

- 阿部 亮（1988）炭水化物を中心とした飼料分析法とその飼料作物の栄養評価法への応用．畜試研資 2： 54-63
- 秋山典昭（1999）飼料作物に含まれる単少糖の高速液体クロマトグラフィ（HPLC）を用いた定量法における試料調製法の検討．草地試験場研究報告 58： 17-25
- 青木大輔・米本貞夫・藤城清司・三上 亮・鳥山秀典（2004）千葉県自給飼料栽培と飼料成分の実態．千葉畜セ研報 4： 49-56
- 千葉県農業化学検査所（1995）堆きゅう肥の炭素含量と強熟減量の関係．平成 6 年度試験成績書．千葉県農業化学検査所，千葉， p50
- 中央畜産会（2000）堆肥化施設設計マニュアル，中央畜産会，東京， p1-246
- 江川寿夫・川西隆智・町田建一・柏木 聡・益田富男・井上 登・林 功・鈴木敏郎（1981）ホールクロップサイレージ通年給与のための作付体系と利用技術の確立．2．作付体系及び貯蔵利用技術．（1）2 期作トウモロコシサイレージの発酵品質と飼料価値．神畜研報 71： 57-63
- 永西 修（2009）三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック（自給飼料利用研究会編）．日本草地畜産種子協会，東京， p21-25
- 藤原俊六郎（1988）おが屑混合鶏ふん堆積物の腐熟度と施用方法について．神奈川園試報 36： 1-100
- 深沢芳隆・吉尾卓宏・津田公男（2003）市販飼料用ソルガム品種の特性．茨城畜セ研報 35： 15-20
- 古谷 修（2011）不良発酵サイレージの給与上の注意点．発酵品質を把握した給与と栄養管理．牧草と園芸 59（1）： 13-16
- 後藤正和・森田 脩・市ノ木浩道（1985）西南暖地におけるソルゴの冬季立毛

- 利用に関する研究. 日草誌 31 : 140-142
- Goto M, Nishijima A, Goto T, Morita O (1987) Palatability and chemical composition of sorghum (*Sorghum*) foggare. Jpn Guillot FS, Wright FC, Oehler D (1986) Concentration of ivermectin in bovine serum and its effect on the fecundity psoroptic mange mites., Am J Vet Res 47 : 525-527
- 原田直人・小村洋美・宮園 勉・竹之内 豊・桑水郁郎 (2009) 二期作トウモロコシ不耕起栽培における品種・播種作業性・年3作体系の検討並びに栽植密度が生産性, 耐倒伏性に及ぼす影響. 鹿児島農総セ研報 (畜産) 3 : 19-26
- 原田靖生 (1990) 家畜排泄物および処理物の特性. 畜産の研究 44 : 128-134
- 原島徳一・中山貞夫・佐々木亨 (2006) シバ, センチピードグラスの播種量と乾物生産量. 日草誌 52 (別1) : 48-49
- 池田孝則 (2003) 腸管糞線虫治療薬イベルメクチン (ストロメクール) の薬理作用. 日薬理誌 122 : 527-538
- 井上 登・中岡道明・鈴木 進・隅田昭二 (1980) サイレージ用とうもろこしの播種期試験—播種期の移動に伴う生育・収量の変化と2回どり栽培の可能性—. 神畜研報 70 : 53-71
- 井上 登・中岡道明・鈴木 進・林 功・鈴木敏郎 (1981) ホールクroppサイレージ通年給与のための作付体系と利用技術の確立. 1. 作付体系策定のための草種品種の評価と生産技術(1)トウモロコシ2期作のための品種と栽培. 神畜研報 71 : 43-56
- 井上 登・中岡道明・鈴木 進・林 功・鈴木敏郎 (1982) ホールクroppサイレージ通年給与のための作付体系と利用技術の確立. 2. 作付体系及び貯蔵利用技術. (3) 作付体系の実証. 神畜研報 72 : 109-114
- 井上吉雄・阿部 林・桃木徳博・田辺 忍・石井忠雄・宮田安彦 (1989) トウモロコシ・ソルガム混播方式を主体とした飼料作物作付体系の技術的検討.

農研センター研報 15 : 31-45

石田良作 (1990) 我が国におけるシバ及びシバ型草地研究の成果と展望. 日草誌 36 : 210-217

磯部 等・関本 均 (1999a) 栃木県における豚用飼料. 豚ふんおよび豚ふん堆肥の重金属含有量の実態. 土肥誌 70 : 39-44

磯部等・関本 均 (1999b) 堆肥化に伴う豚ふん中の銅および亜鉛の化学形態変化と植物性吸収移行性. 土肥誌 70 : 45-50

岩崎 薫・名久井 忠・早川政市 (1981) 降霜がトウモロコシサイレージの発酵品質, 飼料価値ならびに圃場損失へ及ぼす影響. 日草誌 26 : 418-423

柿原孝彦・福田誠実 (1988) トウモロコシとソルガムの混播による転換畑飼料作物の安定生産. 福岡農総試研報 C-8 : 51-55

神奈川県環境農政部農業振興課 (2010) 神奈川県作物別肥料施用基準 (平成 21 年版). 神奈川県環境農政部農業振興課, 横浜, p30

神奈川県ヤマビル対策共同研究推進会議 (2009) ヤマビル対策共同研究報告書. 神奈川県政策部総合政策課科学技術・大学連携室, 横浜, p1-106

金子幸司 (1973) サイレージ用トウモロコシの収穫期と栄養収量. 牧草と園芸 21 : 7-11

菅野 勉・森田聡一郎・佐藤節郎・黒川俊二・九石寛之・島田 研 (2011) 関東北部のサイレージ用トウモロコシ (*Zea mays* L.) 二期作栽培における乾物収量および乾物率. 日草誌 57 : 43-46

菅野 勉・森田聡一郎・佐藤節郎・黒川俊二・西村和志・九石寛之・増山秀人・島田 研 (2013) 関東におけるトウモロコシ二期作の栽培適地と限界地帯における生産性. 農研機構, 茨城, http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2012/120c1_04_11.html [2014 年 11 月 7 日参照]

加藤直樹・服部育男・佐藤健次 (2008) スイートソルガムの立毛貯蔵時におけ

- る乾物収量および茎部糖含量の推移. 日作記 77 (別) 263-264
- 加藤直樹・服部育男・吉川好文・村木正則・山田明央・佐藤健次 (2011) 極早生品種を利用した九州中北部向けサイレージ用トウモロコシ 2 期作栽培技術. 農研機構, 茨城, <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2010/konarc10-02.html> [2014 年 11 月 7 日参照]
- 加藤直樹 (2011) 九州における飼料用トウモロコシ不耕起栽培技術の紹介. 日草誌 57 : 172-175
- 加藤直樹 (2016) 暖地での飼料用トウモロコシ二期作と不耕起栽培技術の紹介. 牧草と園芸 64 (1) : 10-13
- 木原良之・根本勝男・鈴木英男・懸田 護 (1991) トウモロコシ・ソルガム混播栽培に関する試験. 神畜試研報 81 : 20-31
- 清沢敦志 (2015) ソルガム類の近年の品種育成の動向. 日草誌 61 : 177-183
- 小林良次・館野宏司・佐藤節郎 (1997) トウモロコシとスーダングラスおよびスーダン型ソルガムの混播栽培. 九州農業研究 59 : 126
- 小林良次・館野宏司・佐藤健次・服部育男 (2007) イタリアンライグラスと部分耕トウモロコシ 2 期作を組み合わせた年 3 作体系において年間分の堆肥を一括施用する場合の適切な施肥体系. 日草誌 53 : 114-121
- 小槇陽介 (2009) 消化性や嗜好性を改善したソルガム, スーダングラスの優良品種と上手な利用方法について. 牧草と園芸 57 (2) 6-11
- 小山信明 (2003) 耕作放棄地の放牧利用. 農用地の保全的利用を目指して. 畜産の研究 57:953-956
- 黒江秀雄・折田安行・恒吉利彦・原田満弘 (1982) 青刈とうもろこしと青刈ソルガムの混播試験. 鹿児島畜試研報 14 : 98-106
- 松尾直樹・井上眞理・古屋忠彦・鄭 紹輝・福山正隆 (2004) 九州 3 地区における気象要因とシバおよびセンチピードグラスの生産量との関連性. 九大農

学芸誌 59 : 89-97

宮崎 茂 (2001) 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック (自給飼料品質評価研究会編). 日本草地畜産種子協会, 東京, p138-142

村井 勝 (2004) 細断柄ロールベールサイレージにはどんな特徴があるか?. サイレージ. デーリィ・ジャパン, 東京, p135-144

日本環境整備教育センター (1995) 合併浄化槽による生活廃水処理の高度化・安定化に関する研究報告書. 日本環境整備教育センター, 東京

日本緑化センター (2002) 家畜ふん堆肥利活用促進マニュアル, 日本緑化センター, 東京, p1-14

日本草地畜産種子協会 (2005) シバ型草地の造成と利用マニュアル. 社団法人日本草地畜産種子協会, 東京, p26-27

野中和久 (2014) 草地管理指標－飼料作物生産利用技術編－. 日本草地畜産種子協会, 東京, p107-129

農文協編 (1995) 畜産環境対策大事典. 農山漁村文化協会, 東京, p119-121

農業・食品産業技術総合研究機構 (編) (2010) 日本標準飼料成分表 (2009 年版). 社団法人日本中央畜産会, 東京, p52-55, 76-77

農林水産省 (2010) 2010 年世界農林業センサス結果の概要 (平成 22 年 2 月 1 日現在). 農林水産省大臣官房統計部, 東京, <http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/about/2010.htm> [2011 年 8 月 10 日参照]

農林水産省畜産局 (2000) 草地管理指標－草地の放牧利用－, 社団法人日本草地畜産協会, 東京, p5-6

農林水産省生産局畜産部飼料課 (2017). 飼料をめぐる情勢 (平成 29 年 9 月). 農林水産省, 東京, http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryu/attach/pdf/index-153.pdf [2017 年 10 月 5 日参照]

農林水産省農業環境技術研究所 (1992) 肥料分析法 1992 年版. 日本肥糧検定協

会，東京，p1-200

沼田 真・依田恭二（1957）人工草地の群落構造と推移 1．日草誌 3：4-11

大下友子・野中和久・久米新一・小酒井貴晴・青木康浩・秋山典昭（2005）ト
ウモロコシサイレーヅ調製における排汁割合と熟期別養分損失．農研機構，
茨城，<http://www.naro.affrc.go.jp/org/harc/seika/h16/305.htm> [2014年11月7
日参照]

大槻和夫（2001）飼料の TDN の推定．改訂粗飼料の品質評価ガイドブック（自
給飼料品質評価研究会編）．日本草地畜産種子協会，東京，p77-83

折原健太郎・秋山 清・水宅清二（2010）飼料作物奨励品種選定試験．（1）ト
ウモロコシの品種比較試験．平成 21 年度試験研究成績書．神奈川県農業技
術センター畜産技術所，海老名，p51-52

折原健太郎・秋山 清・水宅清二（2011a）飼料作物奨励品種選定試験．（1）ト
ウモロコシの品種比較試験．平成 22 年度試験研究成績書．神奈川県農業技
術センター畜産技術所，海老名，p61-62

折原健太郎・秋山 清・水宅清二（2011b）牧草・飼料作物系統適応性検定試験．
（1）イタリアンライグラス．イ 茨城県畜産センター育成系統．平成 22
年度試験研究成績書．神奈川県農業技術センター畜産技術所，海老名，p65-
66

折原健太郎・秋山 清・水宅清二（2012a）飼料作物奨励品種選定試験．（1）ト
ウモロコシの品種比較試験．平成 23 年度試験研究成績書．神奈川県農業技
術センター畜産技術所，海老名，p101-102

折原健太郎・秋山 清・水宅清二（2012b）多様な地域の飼料生産基盤を最大限
活用できる飼料作物品種の育成．温暖地向き高糖分・高 TDN 含量イタリア
ンライグラス品種の育成．ア イタリアンライグラスの関東南部での適応
性評価．平成 23 年度試験研究成績書．神奈川県農業技術センター畜産技術

- 所, 海老名, p105-106
- 折原健太郎 (2014) トウモロコシ不耕起栽培のメリットを生かす. 3 開発機を使った栽培事例-神奈川県. DAIRYMAN. 64 (4) : 42-43
- 折原健太郎・本谷 直・横澤将美・菅野 勉 (2015) ソルガム類を活用したコントラクター等に適した省力的多収飼料生産技術. 日草誌 61 : 194-201
- 蔡 義民 (2009) 三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック (自給飼料利用研究会編). 日本草地畜産種子協会, 東京, p64-78
- 細断型ロールベアラ利用研究会編 (2008) 細断型ロールベアラ利用マニュアル. 農業食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター, さいたま, p1-67
- 斉藤武志・浅川和憲・中村 進・池上哲生 (2004) センチピードグラスとイタリアンライグラスによる周年放牧. 九農研 66 : 158
- 進藤和政・山本嘉人・小川恭男・小川信明 (2002) 組合せ周年放牧草地の家畜生産量およびエネルギー転換効率. 日草誌 48 (別) : 148-149
- 志藤博克・高橋仁康・澁谷幸憲・山名伸樹 (2005) 試作細断型ロールベアラを基軸とした長大型作物収穫調整技術の開発. 日草誌 51 : 87-92
- 橘 保宏・川出哲生・志藤博克・平田 晃 (2014a) 不耕起対応トウモロコシ高速播種機の開発. 1. 高速高精度種子繰出装置の設計と機能確認. 日草誌 60 : 200-205
- 橘 保宏・川出哲生・志藤博克・平田 晃 (2014b) 不耕起対応トウモロコシ高速播種機の開発. 2. 高速高精度種子繰出装置の性能. 日草誌 60 : 206-212
- 統計センター (2017) 作物統計調査. 耕地及び作付面積統計. 飼肥料作物作付 (栽培) 面積累年統計, 東京, https://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/GL08020101.do?_toGL08020101_&tstatCode=000001013427 [2017年10月28日参照]
- 戸澤英男 (2005) トウモロコシ 歴史・文化, 特性・栽培, 加工・利用. 農山

漁村文化協会，東京，p211-320

Weiss WP, Conrad HR, Pierre NRSt (1992) A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. Anim Feed Sci Technol 39 : 95-110

山口武則 (1997) 家畜ふん堆肥の品質・成分的特徴. 畜産技術 501 : 10-17

山本嘉人 (2005) センチピードグラス播種によるシバ型放牧草地の早期造成.
畜産の研究 59 : 131-134

山本嘉人・池田堅太郎・北川美弥・西田智子・宮崎 桂 (2006) センチピードグラス導入にともなう放牧草地の植生動態. 日草誌 52 (別1) : 18-19

米本貞夫・反町 裕・藤城清司・三上 亮・江藤哲雄 (2003) トウモロコシとの混播栽培におけるソルガムの適品種. 千葉畜セ研報 3 : 31-36

吉田則人・岡本明治 (1978) サイレージの調製と利用に関する研究. 2. 降霜後に収穫調製したデントコーンサイレージの品質, 飼料価値, 産乳効果. 帯大研報 10 : 885-891

吉川吉之助・杉山憲継 (1984) 転作トウモロコシ二期作栽培技術. 畜産コンサルタント 20 : 37-39

有機質肥料品質保全研究会 (1994) 有機質肥料品質保全研究会報告書. 全国農業協同組合中央会, 東京, p1-288

Summary

Studies on self-supplied feed production method based on efficient utilization of land in the southern Kanto region.

Kentaro Orihara

The purpose of this study is to develop a method of producing self-sufficient feed based on the efficient utilization of land in the southern Kanto region. This paper discusses the following four points: 1) the cultivation method of forage crops with high land productivity, 2) the labor-saving and high-yield cultivation method of forage crops, 3) the method of improving the quality of silage, 4) the safety of self-sufficient production utilizing abandoned lands for grazing and the protection of animal manure compost.

First, I examined the corn double cropping system for silage to develop a method of cultivating forage crops with a high land productivity. In the first crop from early April, the very early-maturity cultivars with an RM of 100 reached the ripe stage in late July. In the second crop from early August, the late-maturity cultivars with an RM of 125-135 reached the ripe stage in late November or early December, and required approximately 1,200°C of effective cumulative temperature (ECT) for ripening and 28% of the dry matter ratio. We concluded that the combination of the very early-maturity cultivars (RM100) and the late-maturity cultivars (RM125-135) was suitable for a double cropping system in the area examined.

Non-tilled cropping was conducted for stable cultivation in the second

cropping. The method of fertilization was to utilize one year's worth of manure compost by 8t/10a before the cultivation of the first crops. After that, 48kg/10a of ammonium sulfate is used to fertilize both the first crop with tillage and the second crop with non-tillage. The annual yield of the corn double-cropping system was 3,378 kg/10a dry matter yield and 2,443kg/10a TDN yield. Compared with the two crop system of corn and Italian ryegrass, the dry matter yield increased by 18% and TDN yield increased by 26%.

Second, I examined the labor-saving and high-yield cultivation method of forage crops for contractors. This method utilized sorghum in order to develop a labor-saving cultivation system for forage crops. Corn of very early-maturity cultivars below an RM110 was used for mix cropping with the sorghum-sudangrass hybrid "Minekaze". In a period when the average temperature was approximately 13°C, corn seeds were sown in a ratio of 7000 stalks/10a planting density and sorghum seeds were seeded in a ratio of 0.5kg/10a (15,500 stalks/10a planting density). The first cutting was conducted in the ripe stages of the corn. The second cutting was conducted during the dough-ripe stage of sorghum aftermath.

The annual yield of the developed mix cropping of the sorghum-sudangrass hybrid "Minekaze" and corn was 3,178kg/10a dry matter yield and 1,908kg/10a TDN yield. The dry matter yield was 7% higher than that of the double cropping system of corn and Italian ryegrass and the TDN yield was 2% higher. When compared with the conventional mix cropping of corn and sorghum or corn double cropping, the dry matter yield was 6% lower and 12% lower respectively and the TDN yield was 11% and 24% lower.

The labor productivity of the cropping system was 3.39 DM kg/minute, which

was 8% lower than that of the corn double cropping. However it was 21% higher than that of the double cropping of corn and Italian grass. In regards to the harvest time, the first cutting of the cropping system was conducted in the same period as the old mix cropping of corn and sorghum, while the second cutting was done one month earlier than that. The results show that decentralized work has the possibility to expand crop acreage if a part of the conventional mix cropping is replaced with the mix cropping of “Minekaze” and corn.

Third, I examined the proper harvest time for ensiling the immature corn in order to improve the quality of the silage. The dry matter yield of the immature corn whose seeding was delayed was unchanged when the corn had been covered with frost during the foggage conservation period. However the later the harvest date, the more the dry matter ratio and the dry matter's ear ratio increased.

Adjusting the harvest time with foggage conservation allowed for the adjustment of the water content of the immature corn (which included a high percentage of water in late fall) and also reduced the loss of nutrition caused by seepage. However, it is not preferable to conduct foggage conservation after the green color fades and the plant begins to wither because foggage conservation decreases the amount of mono- and oligo-saccharide. The results indicate that the proper harvest time of immature corn is the period when the green color remains but withering and dryness can be observed in leaves during foggage conservation.

Fourth, I examined the method of utilizing grazing as means for using abandoned cultivated lands. We made centipede grass pasture with hoof cultivation method and investigated the vegetation and grazing capacity under pasture

establishment. Pasture was established by hoof cultivation on abandoned cultivated land, with dominated by festulolium and southern crabgrass. As a result, the coverage of centipede grass in autumn increased by 3.3% in first year, 12.2% in second year and 66.7% in third year. Centipede grass became the most dominant grass species in the third year. As the coverage of centipede grass increased, the vegetation rate in pasture increased and the number of grass species decreased. The grazing capacity of the pastures gradually increased during its development: 939 cow•day/ ha in the first year, 1,198 cow•day/ha in the second year, and 1,363 cow•day/ha in the third year.

For the protection of the animal manure compost, I investigated heavy metal content in the compost produced in Kanagawa and examined its characteristics as well as its relation with other fertilizer components. There were more micronutrients such as zinc, copper, and manganese in pig manure compost than cattle and poultry manure composts. There was also a small amount of heavy metals such as arsenic, cadmium, mercury, and lead that could pollute the environment. Zinc, copper, manganese and lead were contained in some composts in a high concentration. In cattle manure composts in particular, the greatest amounts of these metals were over the recommended standard for sludge fertilizer as well as the value outlined in Fertilizer Control Law. These values showed a possibility to cause land pollution. Since there was no correlation between the heavy metals content in the animal manure compost and other fertilizer ingredients, it is difficult to infer its heavy metals content based on the analysis of a section of compost. Therefore, an analysis of individual components is required.

According to principal component analysis, it had been suggested that high densities of heavy metals contained in the animal manure compost came from

sub-materials. Today, many kinds of unusual materials are utilized as sub-materials for the purpose of cost reduction and resource recycling. Therefore it will be important to continue monitoring the heavy metals content in the animal manure compost and accumulating the data in order to reveal the origin of the heavy metals contained within. In this study, the following four points were discussed. First, I showed that the production of self-sufficient fodder can be increased by two methods: 1) improving land productivity by introducing a silage corn double cropping system in the southern Kanto region, and 2) expanding the undertaken area through work distribution among the contractor organization and using the mix cropping of sorgum-sudangrass hybrid “Minekaze” and corn. Second, I discussed the proper harvest time for ensiling the immature corn and indicated that it improves the quality of silage along with leading to the efficient utilization of self-sufficient fodder. Third, I showed the means of utilizing abandoned cultivated lands. Grazing in the abandoned cultivated lands contributes to controlling the amount of Japanese mountain leeches that cause environmental issues as well as developing pastures of centipede grass while continuing grazing. Forth, I examined the heavy metal content in the animal manure compost and showed that there is a need to consider the safety of animal manure compost in order to keep a sustainable agriculture.

These results could be considered a contribution to the self-sufficient fodder production that efficiently utilizes land in the southern Kanto region of Japan and also considered to be a method that plays a part in stable dairy farming.