

オーチャードグラス草地における家畜糞堆肥と窒素単体肥料の組み合わせ施肥の影響

由利奈美江^{*1}・渡邊 潤^{*2}・佐藤寛子^{*3}・千葉祐子^{*4}・加藤真姫子^{*4}

^{*1} 現：秋田県南部家畜保健衛生所, ^{*2} 現：秋田県立大学, ^{*3} 現：秋田県秋田地域振興局,

^{*4} 現：秋田県中央家畜保健衛生所

要 約

家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律や持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律により、家畜糞堆肥の積極的な利活用が求められている。また、自給飼料生産コスト低減においても家畜糞堆肥の利用が期待されている。しかし、家畜糞堆肥の施用により土壤中の養分が過剰となる可能性もあり、適正な使用方法の検討が必要である。そこで、オーチャードグラス草地における堆肥と窒素単体肥料の組み合わせ施肥が牧草の収量や栄養成分などにどのような影響を与えるのかを検討した。その結果、家畜糞堆肥と窒素単体肥料の組み合わせ施肥は、施用3年目から化成肥料のみの施用と比較して収量が増加する傾向が確認できた。また、ミネラルバランスの改善効果があることも示唆された。ただし、施用には堆肥の成分分析や土壌分析に基づく施肥設計に留意が必要である。

緒 言

平成11年11月に家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律が施行され、畜産農家において、家畜排せつ物の適正管理と、資源としての有効利用が求められている。また、持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律が平成11年10月に施行され、地域で発生する家畜糞堆肥などの有機質資源の利用や、化学肥料の低減を推進することとされている。

近年、秋田県内においても、畜産クラスター事業などの活用による畜産経営の大規模化が進んでおり、飼養コスト低減のための自給飼料生産に対する期待は大きい。また、秋田県における家畜排せつ物量は平成26年度で1,030千tと推定されており、堆肥換算で360千tの堆肥が生産されている(秋田県2016)が、増頭に伴う堆肥の生産量増加への対応が今後求められることが予想される。

このことから家畜糞堆肥の有効かつ適切な利

用方法を提示することは、依然として高値基調にある化学肥料費を低減し、栽培コストを抑えるためにも重要であり、耕畜連携の推進に寄与すると期待される。また、一方で、輸入乾牧草価格は103円/TDNkgと依然として高値であり(農林水産省2019)、畜産農家において自給飼料生産は飼養コスト削減のために重要である。

しかし、家畜糞堆肥は畜種や副資材の種類によって成分は異なる(山口ら2000, 佐藤2006)が、窒素に比べリン酸やカリウムの含量が高い傾向にあるため(石田ら2011)、家畜糞堆肥と化成肥料を両方施用すると土壤中のリン酸やカリウムが過剰になる恐れがある。土壤中のカリウムが過剰になると、イネ科牧草はカリウム吸肥性が高いため、牧草中のカリウム含量が高まり、拮抗関係にあるカルシウムやマグネシウムの含量が低くなることで、牧草中のミネラルバランスが悪化し、家畜のグラスタニー症を引き起こす恐れがある(農林水産省2007)。そのため、家畜糞堆肥と

窒素単体肥料を組み合わせることにより、土壌中の養分過多を回避する適正な施肥設計が必要である。

これまで現場では牧草（オーチャードグラス）栽培において、県内で生産された完熟牛糞堆肥を施肥窒素の50%まで代替して施肥を行っても収量やTDN含量など化成肥料のみで施肥を行った場合と同等であることを明らかにした（佐藤ら2012）。そこで、本試験では、現地における堆肥と窒素単体肥料の組み合わせ施肥が収量や栄養成分などにどのような影響を与えるのかを検討した。

材料と方法

1. 供試草地

秋田県雄勝郡羽後町の生産者集団の管理するオーチャードグラス採草地2.0 haおよび2.2 haの2区画とし、それぞれを慣行区と試験区に設定した。

2. 試験期間

平成24年から29年の6カ年とした。

3. 施肥設計

慣行区は化成肥料のみの施肥とし、試験区は堆肥と窒素単体肥料を組み合わせ、全体窒素の

25%を堆肥で代替するように設計した。

施肥量は年間で窒素が14 kgとなるように設定し、早春に10 kg、1番草収穫後に4 kgとなるように分施した。

慣行として使用した化成肥料の成分は窒素20%、リン酸10%、カリ10%であり、試験区の窒素単体肥料は尿素（窒素46%）を使用した。

堆肥は容量比で牛糞4：豚糞3：戻し堆肥3：もみ殻2の原料を、羽後町の堆肥センターにおいて、1次処理として開放型ロータリー攪拌方式で発酵し、2次処理は堆積型発酵処理により調整したものを使用した。

各区の施肥設計は表1のとおりとし、試験区の試験5年目および6年目は土壌に残存した堆肥の影響を考慮し、尿素のみの施肥とした。

4. 調査項目

1) 牧草収量：刈り取り回数は年2回とし、慣行区は3カ所、試験区は5カ所に1 m²のコトラードを設置し、その内部の草丈を調査すると共に、全量を収穫して収量を計測した。

2) 飼料成分：収量調査時に採取した牧草を60℃で48時間通風乾燥し、室温で24時間静置後に粉碎し、1 mmメッシュを通過したものを分析に供した。調査項目は粗蛋白質、粗灰分、粗繊維、可消化養分総量（TDN）、リン酸、カ

表1 施肥設計

	施肥量(kg/10a)			投入成分量(kg/10a)		
	化成肥料 (NPK=20-10-10)	堆肥 (NPK=0.14-2.2-2.3)	窒素単体肥料 (N=46)	N	P	K
早春	50			10.0	5.0	5.0
慣行区 1番草収穫後	20			4.0	2.0	2.0
合計	70			14.0	7.0	7.0
早春		2,000	15	9.7	44.0	46.0
試験区 1番草収穫後		500	8	4.4	11.0	11.5
合計		2,500	23	14.1	55.0	57.5

ルシウム, マグネシウム, カリウム, $K/(Ca+Mg)$ 等量比 (ミネラルバランス) とした。

粗蛋白質, 粗灰分, 粗繊維, リン酸, カルシウム, マグネシウム, カリウムは常法 (自給飼料利用研究会 2009) に従って分析した。

TDN は, Ob と OCW を酵素法により分析し, 推定式 $TDN = 0.674 \times (OCC+Oa)+0.127 \times Ob+18.53$ (大槻ら 2001) を用いて求めた。ミネラルバランスは, 分析したカルシウム, マグネシウム, カリウムの値を基に等量比を求めた。

3) 土壌成分: 慣行区は3カ所, 試験区は5カ所から表層 15 cm 程度の土壌をサンプリングし, 分析に供した。

サンプリングは早春施肥前とし, 平成 24 年, 平成 25 年, 平成 26 年, 平成 28 年, 平成 29 年の 5 回実施した。

調査項目は pH, 有効態リン酸, リン酸吸収係数, 置換性塩基 (CaO, MgO, K_2O) とし, 分析は常法 (日本土壌協会 2001) に従って行った。

5. 統計処理

調査データについて, F 検定により等分散を確認後, t 検定により有意差検定を行った。

結 果

1. 牧草収量

1 番草収穫時の草丈は試験開始時の平成 24 年には試験区の方が有意に高くなったが, 2 年目以降は試験区の方が高い値を示したものの, 有意差は認められなかった。試験 6 年目の平成 29 年は試験区の方が有意に高い値を示した (表 2)。

2 番草収穫時の草丈は平成 24 年, 25 年は慣行区の方が高く, その後逆転し平成 26 年以降は試験区が高く, 平成 26 年と 29 年で試験区の方が有意に高くなったが, その他の年では有意差は認められなかった (表 3)。

乾物収量の推移を図 1 に示した。1 番草と 2 番草の合計乾物収量は平成 24 年が慣行区 574.0 kg/10a, 試験区 557.7 kg/10a で, 平成 25 年が慣行区 599.8 kg/10a, 試験区 495.1 kg/10a と慣行区の方が高く推移したが, 試験 3 年目の平成 26 年は逆転し, 慣行区 455.1 kg/10a に対し試験区が 705.6 kg/10a と有意に高くなった。その後, 平成 27 年以降も試験区の方が高い値を示した。また, 平成 28 年および 29 年の試験区は窒素単体肥料のみの施肥であったが, 平成 28 年の慣行区が 843.8 kg/10a, 試験区が 894.1 kg/10a で, 平成 29 年の慣行区が 634.9 kg/10a, 試験区が 775.0 kg/10a と, 試験区が慣行区より高い値を示した。

表 2 1 番草草丈

	(cm)					
	H24	H25	H26	H27	H28	H29
慣行区	88.7 ± 7.2 a	99.4 ± 8.5	108.6 ± 14.7	56.7 ± 4.8	113.8 ± 7.4	110.0 ± 5.4 a
試験区	98.5 ± 4.0 b	100.0 ± 5.0	114.7 ± 8.1	57.4 ± 17.6	119.3 ± 4.6	119.2 ± 4.3 b

平均±標準偏差

異符号間に有意差あり ($P<0.05$)

表 3 2 番草草丈

	(cm)					
	H24	H25	H26	H27	H28	H29
慣行区	75.5 ± 8.0	83.2 ± 5.1	61.2 ± 6.7 a	56.7 ± 4.3	76.8 ± 6.4	55.1 ± 6.8 a
試験区	73.2 ± 9.1	75.7 ± 6.4	79.9 ± 10.5 b	57.4 ± 4.0	82.2 ± 6.4	68.0 ± 2.7 b

平均±標準偏差

異符号間に有意差あり ($P<0.05$)

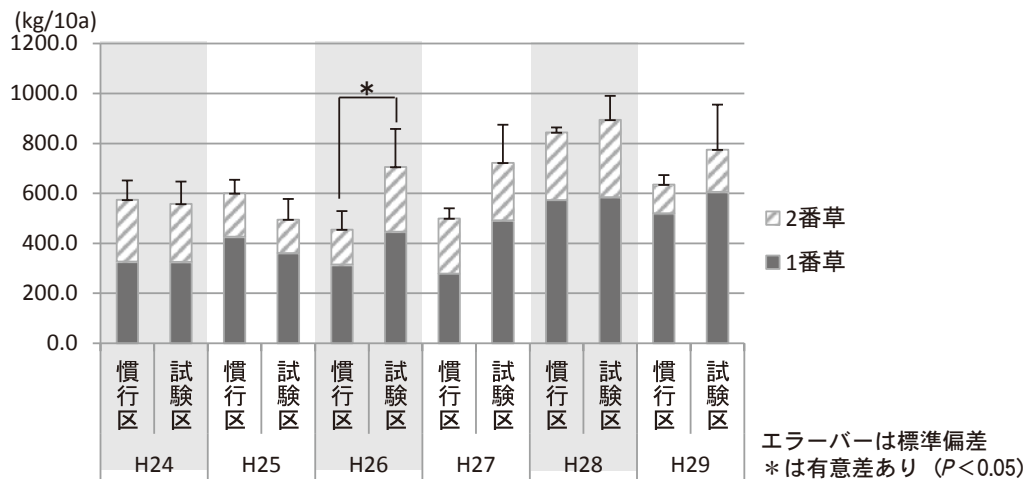


図1 乾物収量の推移

2. 飼料成分

表4に試験6年間における1番草の粗蛋白質、粗灰分、粗繊維、TDNの分析結果を示した。

粗蛋白質含量は平成25年までは慣行区の方が高い傾向にあったが、その後はばらつきが見られた。また、平成25年、27年、29年では慣行区が有意に高い値を示したが、その他の年に有意差は認められなかった。

粗灰分含量は平成24年から27年までは試験区が高い傾向にあり、平成26年には有意差も確認できた。平成28年以降の有意差は認められないが、慣行区の方が高く推移した。

粗繊維含量は平成24年は慣行区が有意に高い値を示し、平成26年も有意差は認められないものの、慣行区の方が高くなったが、平成27年以降は試験区の方が高い傾向を示した。

TDN含量は平成24年から平成27年までは慣行区の方が高い値を示し、特に平成24年と27年は有意に高かった。しかし、平成28年以降は試験区の方が高い値を示し、平成29年には試験区が有意に高くなった。

試験最終年度の平成29年には粗たんぱく質含量と粗灰分含量で慣行区が有意に高く、粗繊維とTDNは試験区の方が有意に高い値を示し、すべての項目で有意差が認められた。

表5に試験6年間における2番草の粗蛋白質、粗灰分、粗繊維、TDNの分析結果を示した。

粗蛋白質含量は試験最終年に慣行区が有意に高い値を示したが、平成24年から平成28年には有意差は認められず、値の傾向も年次によってばらついた。

粗灰分含量は平成24年から平成28年まで試験区が有意に高く、平成29年も有意差は認められないが、試験区の方が高い値を示した。

粗繊維含量は試験期間全期間を通して試験区の方が高い傾向にあったが、平成29年以外は有意差は認められなかった。

TDN含量は平成24年から平成26年まで大きな差は認められなかったが、平成27年には慣行区が有意に高くなり、平成28年は有意差はなかったが、平成29年も慣行区が有意に高い値を示した。

表6に1番草のミネラル含量を示した。

リン酸含量は平成24年から26年は試験区の方が高い値で推移したが、平成27年から29年は慣行区が有意に高い値を示した。

カルシウム含量は平成24年は慣行区が有意に高い値を示したが、平成25年以降は試験区が高い値を示すものの、有意差は認められなかった。

マグネシウム含量は平成24年は慣行区が有意

に高い値を示したが、平成 25 年以降は大きな差認められなかった。

カリウム含量は年によってばらつきはあるものの、おおむね慣行区が高く、平成 29 年は慣行区が有意に高い値を示した。

表 7 に 2 番草のミネラル含量を示した。

リン酸含量は試験期間全期間を通して試験区の方が高かったが、有意差が認められたのは平成 28 年のみであった。

カルシウム含量は試験期間全期間を通して試験区が高い値で推移し、平成 25 年、27 年、28 年は試験区が有意に高い値を示した。

マグネシウム含量も試験期間全期間を通して試験区が高い値で推移し、平成 24 年、27 年、28 年

には有意差も認められた。

カリウム含量は平成 24 年から 27 年は有意差は認められないものの、試験区が高い値を示したが、平成 28 年および 29 年は慣行区が有意に高い値を示した。

ミネラルバランスは試験開始時には試験区の方が高く、その後平成 26 年までは試験区慣行区ともに大きな差はなく推移したが、平成 27 年以降は慣行区が試験区を上回った (図 2)。

試験区のミネラルバランスは、牛のグラスステタニー症発症リスクが高まるといわれている 2.2 (農林水産省 2007) を平成 28 年に下回り、平成 29 年も 2.2 を上回るものの、3 を超えない範囲で推移した (図 2)。

表 4 1 番草の飼料成分

		(%)			
		粗蛋白質	粗灰分	粗繊維	TDN
H24	慣行区	17.66 ± 2.17	6.61 ± 0.69	35.76 ± 0.50a	63.05 ± 1.03a
	試験区	14.46 ± 3.28	7.97 ± 1.47	32.22 ± 1.21b	59.84 ± 1.15b
H25	慣行区	13.70 ± 0.83a	6.24 ± 0.71	—	52.52 ± 0.77
	試験区	10.09 ± 1.45b	6.65 ± 0.63	—	51.53 ± 0.43
H26	慣行区	12.59 ± 2.35	6.09 ± 0.99a	34.01 ± 0.67	59.02 ± 1.80
	試験区	15.30 ± 0.69	7.52 ± 0.14b	32.95 ± 1.56	59.69 ± 1.11
H27	慣行区	17.08 ± 0.74a	7.08 ± 0.68	30.74 ± 0.25	59.12 ± 0.17a
	試験区	12.45 ± 2.76b	7.81 ± 0.47	34.19 ± 3.19	57.14 ± 1.32b
H28	慣行区	12.59 ± 4.04	8.16 ± 1.39	35.07 ± 1.08	57.20 ± 1.22
	試験区	15.30 ± 2.42	6.47 ± 0.77	35.91 ± 3.53	57.52 ± 1.01
H29	慣行区	19.93 ± 1.43a	8.61 ± 0.75a	30.98 ± 0.58a	60.66 ± 0.83a
	試験区	13.55 ± 1.45b	6.99 ± 0.44b	36.51 ± 1.18b	66.28 ± 0.83b

平均±標準偏差
異符号間に有意差あり ($P < 0.05$)

表 5 2 番草の飼料成分

		(%)			
		粗蛋白質	粗灰分	粗繊維	TDN
H24	慣行区	13.98 ± 0.95	8.71 ± 0.72a	31.19 ± 2.13	58.69 ± 1.22
	試験区	14.58 ± 0.83	11.12 ± 0.31b	31.85 ± 0.61	58.10 ± 1.24
H25	慣行区	12.98 ± 1.23	7.38 ± 0.27a	—	50.54 ± 1.94
	試験区	11.90 ± 1.41	8.46 ± 0.43b	—	50.71 ± 1.26
H26	慣行区	14.04 ± 0.91	9.10 ± 1.17a	30.97 ± 0.24	59.90 ± 1.09
	試験区	16.47 ± 2.35	11.30 ± 0.99b	30.97 ± 0.67	60.59 ± 1.80
H27	慣行区	15.13 ± 0.73	9.67 ± 0.31a	31.75 ± 0.81	54.28 ± 0.29a
	試験区	13.37 ± 1.62	12.13 ± 0.43b	32.35 ± 1.34	53.23 ± 0.58b
H28	慣行区	12.29 ± 2.02	8.44 ± 0.43a	33.14 ± 0.69	54.44 ± 0.99
	試験区	14.22 ± 0.32	10.49 ± 1.09b	33.32 ± 0.74	55.82 ± 1.15
H29	慣行区	18.71 ± 4.56a	8.49 ± 0.84	27.02 ± 1.43a	62.94 ± 1.24a
	試験区	12.67 ± 3.03b	9.93 ± 0.88	30.13 ± 1.04b	58.91 ± 1.49b

平均±標準偏差
異符号間に有意差あり ($P < 0.05$)

表6 1番草のミネラル含量

		(%)			
		リン酸	カルシウム	マグネシウム	カリウム
H24	慣行区	0.37 ± 0.03	0.29 ± 0.02a	0.19 ± 0.01a	3.00 ± 0.51
	試験区	0.39 ± 0.08	0.19 ± 0.06b	0.16 ± 0.01b	3.68 ± 0.88
H25	慣行区	0.24 ± 0.09	0.19 ± 0.04	0.15 ± 0.02	1.76 ± 0.27
	試験区	0.25 ± 0.02	0.24 ± 0.06	0.15 ± 0.01	1.76 ± 0.30
H26	慣行区	0.39 ± 0.04	0.17 ± 0.02	0.14 ± 0.01	2.35 ± 0.14
	試験区	0.61 ± 0.33	0.21 ± 0.08	0.17 ± 0.02	2.90 ± 0.57
H27	慣行区	0.63 ± 0.01a	0.19 ± 0.06	0.16 ± 0.01	2.79 ± 0.27
	試験区	0.49 ± 0.09b	0.22 ± 0.04	0.16 ± 0.01	2.60 ± 0.24
H28	慣行区	0.64 ± 0.06a	0.18 ± 0.04	0.17 ± 0.02	2.68 ± 0.54
	試験区	0.45 ± 0.07b	0.21 ± 0.02	0.17 ± 0.01	2.16 ± 0.53
H29	慣行区	0.73 ± 0.03a	0.15 ± 0.03	0.17 ± 0.00	3.71 ± 0.38a
	試験区	0.66 ± 0.04b	0.26 ± 0.07	0.18 ± 0.01	2.51 ± 0.17b

平均±標準偏差
異符号間に有意差あり (P<0.05)

表7 2番草のミネラル含量

		(%)			
		リン酸	カルシウム	マグネシウム	カリウム
H24	慣行区	0.39 ± 0.06	0.25 ± 0.06	0.24 ± 0.01a	3.68 ± 0.06
	試験区	0.47 ± 0.04	0.34 ± 0.21	0.29 ± 0.01b	4.29 ± 0.52
H25	慣行区	0.36 ± 0.01	0.21 ± 0.01a	0.17 ± 0.02	2.27 ± 0.32
	試験区	0.40 ± 0.04	0.26 ± 0.02b	0.19 ± 0.01	2.38 ± 0.23
H26	慣行区	0.47 ± 0.04	0.29 ± 0.01	0.19 ± 0.01	3.48 ± 0.81
	試験区	0.55 ± 0.08	0.33 ± 0.06	0.21 ± 0.01	3.82 ± 0.61
H27	慣行区	0.69 ± 0.06	0.29 ± 0.02a	0.20 ± 0.01a	4.02 ± 0.36
	試験区	0.90 ± 0.37	0.40 ± 0.03b	0.22 ± 0.01b	4.08 ± 0.44
H28	慣行区	0.53 ± 0.06a	0.23 ± 0.02a	0.18 ± 0.01a	3.49 ± 0.33a
	試験区	0.73 ± 0.06b	0.47 ± 0.08b	0.22 ± 0.01b	2.43 ± 0.44b
H29	慣行区	0.61 ± 0.06	0.27 ± 0.07	0.19 ± 0.02	3.76 ± 0.36a
	試験区	0.73 ± 0.12	0.39 ± 0.08	0.21 ± 0.01	3.01 ± 0.30b

平均±標準偏差
異符号間に有意差あり (P<0.05)

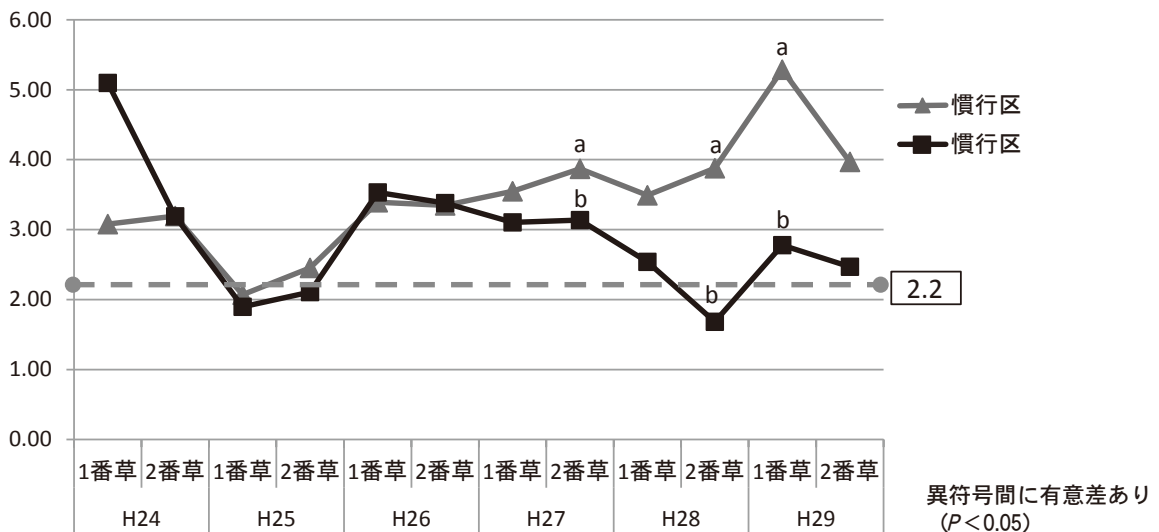


図2 ミネラルバランスの推移

異符号間に有意差あり (P<0.05)

3 土壌成分

表8に土壌分析の結果を示した。

pHは分析を実施したすべての年で試験区の方が高く、平成29年は試験区が有意に高い値を示した。また、試験区は試験開始から平成29年までpH 5.0を下回ることにはなかった。

有効態リン酸は平成24年と平成28年は慣行区が試験区より有意に高い値を示した。また、慣行区、試験区ともに毎年土壌中の有効態リン酸は増加する傾向が見られた。

土壌中のCaOは平成24年から26年は慣行区が試験区より高い値を示したが、平成28年および平成29年は試験区が慣行区を上回った。

土壌中のMgOは分析を実施したすべての年で慣行区が試験区より高い値を示したが、平成29年には試験区が慣行区より有意に高い値を示した。

試験区の土壌中K₂Oは試験開始年次で施肥前にあたる平成24年は9.40 mg/100gと低かったが、平成25年には27.56 mg/100gに増加し、その後も20 mg/100g以上であった。

慣行区の土壌中K₂Oは平成26年のみ試験区より低かったが、他の年は試験区より高い値を示した。

考 察

堆肥中の窒素は化学肥料と比較して肥効が緩やかであり、施肥当年にはすべての窒素が無機化せず、翌年以降に無機化するため、連用により窒素が蓄積されることが知られている(芝ら2006)。

本試験においても、堆肥中の窒素が施肥当年にすべて無機化せず、蓄積したことにより、試験3年目から試験区の収量が増加したものと考えられる。

松中ら(1983)によると土壌のpHが5.8以下の範囲では、pHが高いほど高収量であるため、慣行区に比べ試験区でpHが高かったことも、収量増加の要因の一つであったと考えられる。一般に、化学肥料を施用するとアンモニアが放出され、そのアンモニアが硝酸に変化することで土壌のpHが低下するが、堆肥を施用する際に放出されるアンモニアは化学肥料を施用した場合と比較してゆっくり放出されるため、化学肥料よりも土壌pHの低下が少ないと考えられている(西尾2007)。また、土壌のpHの変化を抑制する土壌緩衝能は堆肥の施用によって増加することが知られている(安西ら2001)。これらの効果により試験区のpHの方が高く維持されたと予想される。

また、平成28年以降は草地表層に堆肥の残存

表8 土壌成分分析結果

		pH (H ₂ O)	有効態リン酸 (mg/100g)		置換性塩基(mg/100g)		
			CaO	MgO	K ₂ O		
H24	慣行区	4.94 ± 0.24	27.12 ± 5.31a	144.60 ± 35.03	57.33 ± 18.45	23.37 ± 14.40	
	試験区	5.55 ± 0.95	13.61 ± 5.04b	136.40 ± 58.56	41.25 ± 13.84	9.40 ± 2.54	
H25	慣行区	4.73 ± 0.49	54.60 ± 9.97	188.07 ± 105.95	60.57 ± 16.21	35.33 ± 4.33	
	試験区	5.00 ± 0.25	40.76 ± 11.39	117.68 ± 65.50	46.38 ± 21.29	27.56 ± 10.13	
H26	慣行区	6.41 ± 1.33	—	144.58 ± 88.30	35.14 ± 9.43	14.58 ± 6.32	
	試験区	5.02 ± 0.41	—	110.09 ± 56.67	33.57 ± 14.27	23.20 ± 11.78	
H28	慣行区	4.70 ± 0.34	59.87 ± 4.09a	136.51 ± 32.95	44.47 ± 7.20	34.28 ± 8.22	
	試験区	5.78 ± 0.92	44.83 ± 5.82b	208.63 ± 250.06	38.60 ± 13.08	25.31 ± 12.63	
H29	慣行区	4.41 ± 0.29a	111.25 ± 16.61	123.07 ± 24.71	41.12 ± 3.15a	40.52 ± 21.50	
	試験区	5.38 ± 0.21b	93.50 ± 14.17	195.02 ± 64.08	51.08 ± 5.81b	24.03 ± 8.18	

平均±標準偏差

異符号間に有意差あり($P<0.05$)

が確認でき、収穫物への堆肥混入の恐れがあったため、堆肥の施用を中止し、尿素のみの施肥へと変更したが、平成 28 年、29 年ともに試験区の方が収量が多くなったことから、数年間堆肥を連用したほ場には堆肥由来の養分が蓄積されており、尿素のみでも十分な収量を確保できることが確認できた。これは飼料作物の生産費低減に寄与する。

牧草中の粗蛋白質含量も収量と同様に平成 24 年から 25 年は慣行区の方が高いものの、平成 26 年には試験区が逆転する傾向にあり、これは蓄積された堆肥中の残存窒素による影響が考えられ、牧草中の粗蛋白質含量は窒素施肥量と比例するという報告（和泉ら 1982）と一致していたが、平成 27 年目以降は比例関係は確認できなくなった。また、TDN についても同様に窒素施肥量との関連は確認できなかった。

これは前述した窒素の蓄積による収量の増加と矛盾した結果であるが、牧草の収量は土壤の MgO 含量や P₂O 含量と密接に関係しているという報告があり（松中ら 1983）、収量増加には窒素だけでなく、様々な要素が重なっていたと考えられる。

また、牧草中の粗蛋白質含量が窒素施肥量と比例するという報告は化学肥料によるものであり、堆肥中の窒素は様々な形で存在し、それらの無機化パターンも温度や堆肥の原料の影響などを受け変化するため（荒巻ら 2007、石橋ら 2014）、化学肥料施肥時とは同じにならなかった可能性も考えられる。

牧草中のリン酸含量は、試験開始時の平成 24 年より、試験後半の方が高くなる傾向が、慣行区試験区ともに確認でき、土壤中の有効態リン酸も同様であったため、土壤中の有効態リン酸含量が牧草中のリン酸含量に影響を及ぼしたことが示唆される。

土壤中の CaO および MgO 含量は試験後半の平成 28 年、29 年に増加傾向にあり、堆肥中に含ま

れているカルシウムおよびマグネシウムが、堆肥を連用することによって、土壤中に蓄積されることが示唆された。一方、家畜糞堆肥はカリウム含量が高めであり、本試験においても計算上堆肥由来のカリウムの投入量は 57.5 kg/10a と慣行区と比較して大幅に高い値であったが、土壤中の K₂O 含量は試験 2 年目に急増して以降大きな差は見られなかった。土壤中の K₂O の増加は平成 25 年の増加以降ほぼ確認できなかったが、土壤中の CaO および MgO が増加したため、牧草中のミネラルバランスが改善されたものと考えられる。

しかし、堆肥の連用によって土壤中の K₂O 含量は増加し（葉上ら 2009）、一般的にイネ科牧草はカリウムを贅沢吸収する性質があるため、堆肥を多量施肥すると牧草中のカリウム含量が増加することが報告されている（近藤ら 1979、佐藤ら 2010）。本試験で同様の影響が見られなかったことは今後検討する必要がある。

黄色土において土壤中の K₂O は積算余剰カリウム量の増加に伴い、溶脱量が急増する事が報告されており（糟谷ら 2011）、カリウムが多量に投入されている本試験においてもカリウムの急激な溶脱があった可能性が否定できない。また、本試験を実施した羽後町は県内でも有数の積雪地帯であり、積雪深は 100 cm 以上あり、多い年には 160 cm にも及ぶ。そのため、土壤に蓄積された養分が雪解け時に地下浸透した可能性も考えられる。

堆肥の施用による環境負荷については、堆肥を窒素成分で化学肥料の 50% 代替しても硝酸態窒素濃度は水道水の環境基準を上回らなかったことを確認しているが（秋田県 2017）、ミネラル分の流亡については確認しておらず、これらも今後確認する必要がある。

本試験において、堆肥を化学肥料の窒素の 25% 代替し、窒素単体肥料と組み合わせて施肥することで、慣行と同等の収量を確保し、ミネラ

ルバランスを改善させることが確認できた。

しかし、前述したように堆肥は畜種や副資材によって成分が異なるため、その施用には堆肥の成分分析や、土壌分析などを実施し、施用量に留意する必要がある。

定期的に土壌分析を実施し、堆肥と窒素単体肥料を組み合わせることで牧草を生産することは、生産費の低減だけでなく、近年問題になっている土壌への過剰な養分蓄積を防ぐことが期待できる。

今後はオーチャードグラス以外の草種でも同様の効果が確認できるか、また、土壌の種類の影響や積雪による土壌中のミネラル分の溶脱について検討する事が必要と考えられる。

引用文献

- 秋田県. 2016. 秋田県家畜排せつ物利用促進計画. 秋田県農林水産部. 秋田. 2.
- 秋田県. 2017. 秋田県堆肥利活用マニュアル～持続的な農業生産のために～. 38. 秋田県, 秋田. 安西徹郎, 犬伏和之, 梅宮善章, 後藤逸男, 妹尾啓史, 筒木 潔, 松中照夫. 2001. 土壌学概論. 第1版. 32-36. 朝倉書店. 東京.
- 荒巻幸一郎, 山本富三, 小山太, 渡邊敏朗, 荒木雅登, 満田幸恵. 2007. 県内家畜ふん堆肥の窒素無機化特性. 福岡県農業総合試験場研究報告 26, 35-40.
- 葉上恒寿, 高橋良学, 佐藤喬, 中野亜弓, 佐藤千秋, 小田島ルミ子, 新毛晴夫, 小野剛志, 多田勝郎. 非アロフェン質黒木土における有機物連用効果. 岩手県農業研究センター研究報告 9, 1-19.
- 石橋英二, 藤原宏子, 鷲尾建紀, 大家理哉. 2014. 堆肥等有機資材からの窒素無機化率の推定における反応速度論的手法の新たな改正方法の提案. 日本土壌肥料科学雑誌 85, 4, 362-368.
- 石田頼子, 金和裕, 佐藤善政, 佐藤寛子, 金田吉弘. 2011. 秋田県内で製造されている堆肥の窒素・リン酸・カリの化学肥料代替量. 秋田県農林水産技術センター農業試験場 研究時報 50, 7-8.
- 和泉康史, 黒沢弘道, 石田亨, 尾上貞雄, 小倉紀美, 蒔田秀夫. 1982. 窒素施肥量が牧草サイレージの飼料価値に及ぼす影響. 日本畜産学会報 53, 313-320.
- 自給飼料品質評価研究会編. 2009. 粗飼料の品質評価ガイドブック. 三訂版.
- 糟谷真宏, 荻野和明, 廣戸誠一郎, 石川博司, 鈴木良地. 2011. 牛ふん堆肥または豚ふん堆肥を連用する黄色土野菜畑における5年間の養分動態. 愛知県農業総合試験場研究報告 43, 137-149.
- 近藤熙, 石井和夫, 杉原進. 1979. 混播草地に対する牛ふん厩肥の連年多量施用. 東北農業試験場研究報告 60, 41-62.
- 松中照夫, 小関純一, 松代平治, 赤城仰哉, 西陰研治. 1983. 根室地方の採草地における植生, 施肥量, 土壌の化学性が生草収量に及ぼす影響. 北海道立農業試験場集報 49, 22-31.
- 日本土壌協会. 2001. 土壌, 水質及び植物体分析法. 西尾道徳. 2007. 堆肥・有機質肥料の基礎知識. 第1刷. 58. 社団法人農山漁村文化協会. 東京.
- 農林水産省. 2007. 草地管理指標—草地の土壌管理及び施肥編—. 133. 社団法人日本草地畜産種子協会. 東京.
- 農林水産省. 2019. 農林水産省畜産部ホームページ: 飼料: 飼料をめぐる情勢, 農林水産省. 東京都. [2019,11,13 引用]. URL: http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l1_siryo/attach/pdf/index-401.pdf.
- 大槻和夫 (2001) 飼料のTDNの推定. 改訂粗飼料の品質ガイドブック (自給飼料研究会編), 日本草地畜産種子協会, 東京, 77-83.
- 佐藤寛子. 2006. 耕種農家が求める家畜堆肥

- 生産技術の確立. 秋田県畜産試験場研究報告 21, 22-28.
- 佐藤寛子, 渡邊潤, 加藤真姫子, 植村鉄矢. 2012. 地域内有機質資源を活用した持続的農業生産技術の確立(第5報)ー牧草生産における堆肥と化学肥料の組み合わせ利用技術の検討ー. 秋田県畜産試験場研究報告 26, 7-9.
- 佐藤義人, 芦田倫子, 村田憲昭. 2010. 採草地への堆肥施肥の影響. 東北農業研究 63, 87-88.
- 芝宏子, 森次真一, 大家理哉, 石橋英二, 藤本寛, 高梨純一. 2006. 牛ふん堆肥の連用による土壌窒素無機化パターンの変化. 近畿中国四国農業研究成果情報.
- 山口武則, 原田靖生, 築城幹典. 2000. 家畜ふん堆肥の製造・利用の現状とその成分的特徴. 農業研究センター研究資料 41, 1-178.