

火山灰土壤に立地する草地における 更新時の堆肥の肥効と施用限界量

木場 稔信*¹ 松本 武彦*² 三枝 俊哉*²

火山灰土壤に立地するチモシー草地における更新時の堆肥1t当たり減肥可能量は、更新2年目、3年目の順に、窒素1.0, 0.5kg, リン酸0.4, 0.3kg, カリウム1.5, 1.0kgと評価された。これにより、窒素と更新2年目のカリウムでは、本試験開始時にすでに設定されていた従来の評価が追認され、リン酸と更新3年目のカリウムについては新たな評価値を設定することができた²⁾。牧草生産性から見た堆肥の施用限界量は4~6t/10aと見積もられ、チモシー・シロクロバ混播草地では、10t/10a以上の堆肥施用によって、シロクロバ混生割合の低下が確認されることから、更新時における堆肥の施用限界量についても、従来の目安と同量の5t/10aが適当と考えられた。

緒 言

北海道の草地酪農地帯では、大規模な酪農生産に伴って発生する大量の糞尿に由来する各種養分が地下水や河川を汚染する危険性が指摘されている⁷⁾。本来、草地酪農においては土~草~牛の間で適切に養分を循環させるべきであるが、過剰な施用や不適切な施用法が原因で養分が牧草に有効利用されない場合、牧草の収量や品質、環境負荷等の面で悪影響を及ぼす可能性がある⁵⁾。

草地への糞尿施用には、維持管理時に表面施用する場合と草地更新時にすき込み施用する場合とがある。前者では北海道内の主要な土壤で実施された試験結果をもとに、肥料効果の評価や施用上限量の指針が整理されている³⁾。一方、後者では、1990年代に火山灰土壤に立地する草地における更新時の減肥可能量として、堆肥1t当たり窒素は更新2, 3, 4年目の順に1.0, 0.5, 0.3kgと評価できることが報告されたが、そこではリンの減肥可能量は未検討であった¹⁰⁾。また、カリについては、既往の報告^{1, 8)}から類推された値が当面の減肥可能量として、

当時の北海道施肥ガイド²⁾に整理されたため、圃場試験による確認の必要性が残されていた。さらに、草地更新時における堆肥の施用上限量については、十分な検討が行われていなかった。一般に、草地更新時における堆肥の施用量は維持管理時よりも多量となるため、施用上限量の設定に関する重要度は高い。

そこで、本試験では、1999年~2002年の4年間にわたり、火山灰土壤に立地するチモシー (*Phleum pratense* L.) 草地において更新時に最大30t/10aまでの堆肥用量試験を実施し、堆肥の肥効を評価した。これによって牧草生産性を維持しつつ環境負荷を低い水準に抑制するための堆肥の施用限界量を設定した。現在、北海道施肥ガイド2010に示されている草地更新時における堆肥の肥効と施用上限量のうち、火山灰土壤の値は、本成果を根拠とするものである。

試験方法

地方独立行政法人北海道立総合研究機構根釧農業試験場(以下、根釧農試と略す)内(黒色火山性土, pH6.2, 有効態リン酸6mg P₂O₅/100g)に以下のようにチモシー単播草地およびチモシー・シロクロバ (*Trifolium repens* L.) 混播草地を造成し、試験を実施した。チモシー単播草地では、マメ科牧草による窒素移譲の影響を除いた条件で堆肥由来の肥効を検討すること、また、チモシー・シロクロバ混播草地では、堆肥施用が草種構成に及ぼす影響を評価することを目的とした。供試圃場は1998年8月3日にプラウを用いて深さ30cmで耕起した後、土壤改良資材として炭酸カルシウムを250kg/10a、

2012年12月13日受理

*¹ 北海道立総合研究機構根釧農業試験場, 086-1135 標津郡中標津町(現:同機構北見農業試験場, 099-1496)

E-mail: koba-toshinobu@hro.or.jp

*² 北海道立総合研究機構根釧農業試験場, 086-1135 標津郡中標津町

E-mail: matsumoto-takehiko@hro.or.jp,

saigusa-toshiya@hro.or.jp

表1 供試した堆肥の成分表

(現物中)

水分 %	T-N %	T-C %	C/N	P ₂ O ₅ %	K ₂ O %	CaO %	MgO %	NH ₄ -N %	NO ₃ -N %
58.0	0.53	7.8	14.5	0.44	0.48	0.45	0.17	0.06	0.01

ようりんを125kg/10a施用した。同8月6日に堆肥を施用し、ロータリーハロを用いて深さ20cmまで混和した。堆肥施用量は、チモシー単播草地では5段階（現物で0, 5, 10, 20, 30t/10a）、チモシー・シロクロバ混播草地では4段階（現物で0, 5, 10, 20t/10a）とした。供試した堆肥の成分を表1に示した。同8月7日にケンブリッジローラを用いて鎮圧し、同8月12日に施肥、播種、鎮圧を実施した。施肥量はN-P₂O₅-K₂O-MgO=4-20-8-2kg/10aである。播種品種および播種量は、チモシー単播草地では「ノサップ」を2kg/10a、混播草地ではチモシー「ノサップ」を1.8kg/10a、シロクロバ「ルナメイ」を0.3kg/10aとした。

更新翌年以降の維持管理時における年間施肥量は、チモシー単播草地では無肥料区および1/2標肥区（N-P₂O₅-K₂O-MgO=8-4-11-2kg/10a）の2水準とした。また、収量水準を比較するため、堆肥無施用区では施肥標準²⁾に準じた区（以下、施肥標準区。N-P₂O₅-K₂O-MgO=16-8-22-4kg/10a）を設置した。

チモシー・シロクロバ混播草地における、維持管理時の施肥処理は減肥区、施肥標準区（N-P₂O₅-K₂O-MgO=6-10-22-4kg/10a）の2種類を設けた（表2）。

表2 チモシー・シロクロバ混播草地における維持管理時の施肥量 (kg/10a)

処理		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO		
①減肥区	1999	0t	6	10	22	4	
		5t	1	5	12	4	
		10t	0	0	2	4	
		20t	0	0	0	4	
	2000	0t	6	10	22	4	
		5t	4	10	21	4	
		10t	1	10	18	4	
		20t	0	10	15	4	
	2001	0t	6	10	22	4	
		5t	4	10	21	4	
		10t	1	10	18	4	
		20t	0	10	15	4	
		2002	0t	6	10	22	4
			5t	6	10	22	4
			10t	6	10	22	4
			20t	6	10	22	4
②施肥標準区	1999 ~ 2002	0t	6	10	22	4	
		5t	6	10	22	4	
		10t	6	10	22	4	
		20t	6	10	22	4	

堆肥0t区は同一圃場

減肥区では北海道施肥ガイド²⁾に準じ、堆肥施用量と更新後年数に応じた減肥を行って年間施肥量を決めた。施肥はいずれの場合も年間施肥量の2/3を早春、残り1/3を1番草収穫後に表面施用した。試験規模は1区面積6.25m² (2.5m×2.5m)、3~4反復とした。収穫は年2回とし、1番草（6月下旬）および2番草（8月下旬）を高さ約5cmで刈り取って生草重を測定した。生草の一部をチモシー、シロクロバ、その他（雑草）に分別し、70℃で2日以上通風乾燥して乾物率を測定し、乾物収量を求めた。

乾燥後の牧草試料は粉碎して分析用試料とし、水野らの方法⁴⁾により湿式分解した後、窒素をフローインジェクション法⁴⁾、リンをバナドモリブデン酸による比色法⁴⁾カリを原子吸光法⁴⁾により定量した。

結 果

1. チモシー単播草地

(1) 乾物収量

図1に、草地更新時の堆肥施用量と年間乾物収量との関係を示した。年間乾物収量は、施肥標準区の乾物収量を100とする指数として表した。草地更新時における堆肥施用量の増加に伴って牧草収量も増加したが、増加の程度は施用量が大きくなるとともに緩やかになった。この関係は大塚の折れ線モデル⁹⁾によく適合した。1/2標肥区の折曲点は、更新2年目の1999年において堆肥施用量5t/10a程度で認められ、それ以上の堆肥施用量では乾物収量が頭打ちになった。以後、2000~2002年における折曲点は堆肥施用量20~22.5t/10a程度の範囲で認められた。

一方、無肥料区では堆肥施用量の増加に応じて収量も増えたが、収量水準は施肥標準区を明らかに下回った。すなわち、チモシー単播草地で施肥標準区と同等の収量を確保するためには、草地更新時の堆肥施用量に関わらず一定量の化学肥料の施用が不可欠であった。

(2) 養分吸収量と堆肥1t当たりの養分吸収増加量

チモシー単播草地にすぎ込まれた堆肥の減肥可能性を適切に算定するには、十分なチモシー生育量の確保が必要である¹⁰⁾。そこで、収量水準が施肥標準区に近い1/2標肥区の養分吸収量を表3に示した。窒素、リンおよびカリの吸収量は、いずれの年次でも堆肥施用量に応じて高まった。また、養分吸収量の水準は、いずれの養分でも1999~2000年で高く、2001年以降に低い傾向を示した。

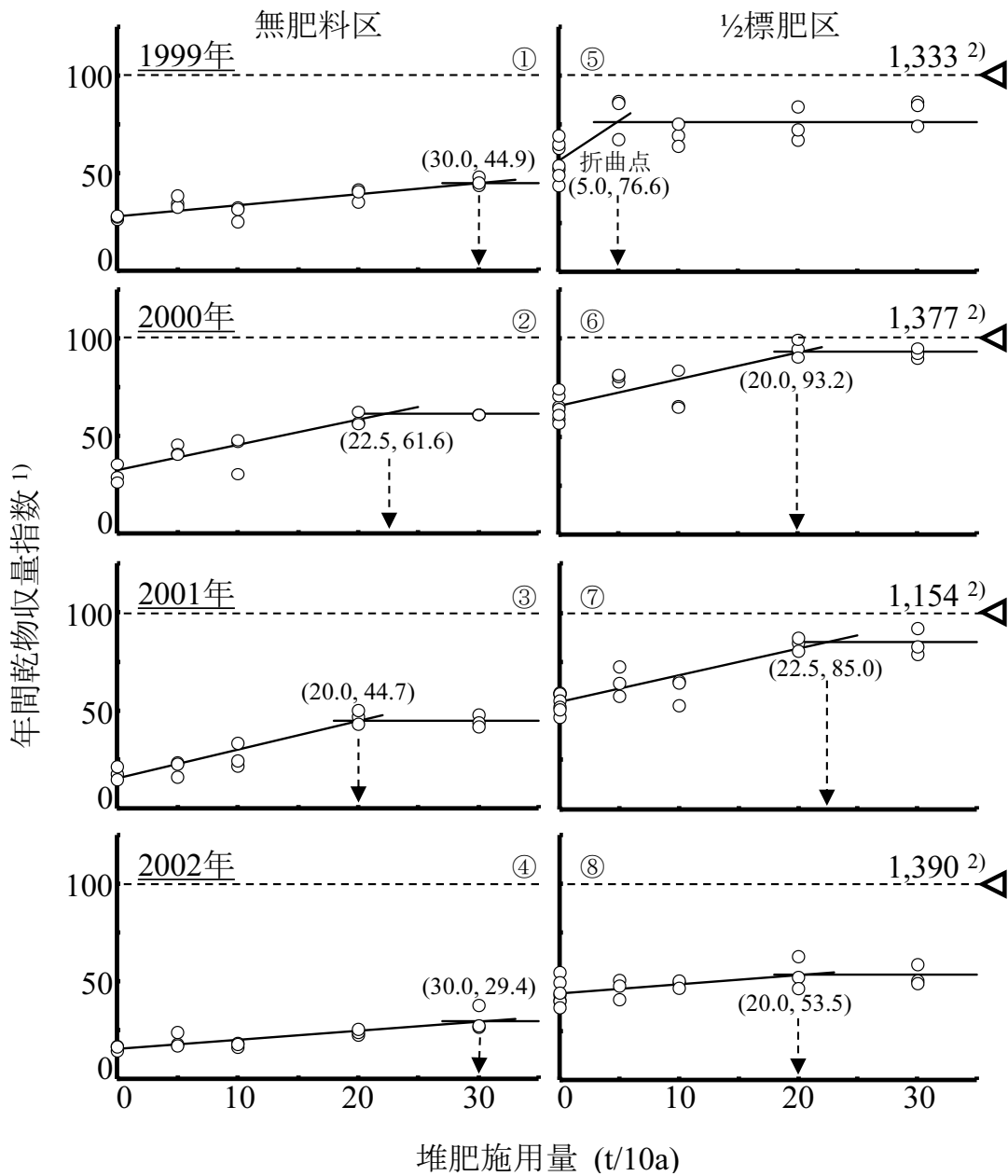


図1 草地更新時における堆肥施用量とチモシー単播草地の乾物収量の関係
使用した折れ線回帰のモデル(大塚 1978)

- ①, $y = \min[28.1 + 0.557x, 44.9]$, $R^2 = 0.74$; ②, $y = \min[32.4 + 1.30x, 61.6]$, $R^2 = 0.84$;
 ③, $y = \min[15.0 + 1.48x, 44.7]$, $R^2 = 0.89$; ④, $y = \min[15.4 + 0.468x, 29.4]$, $R^2 = 0.71$;
 ⑤, $y = \min[56.7 + 3.97x, 76.6]$, $R^2 = 0.57$; ⑥, $y = \min[65.8 + 1.37x, 93.2]$, $R^2 = 0.74$;
 ⑦, $y = \min[54.4 + 1.36x, 85.0]$, $R^2 = 0.81$; ⑧, $y = \min[44.3 + 0.457x, 53.5]$, $R^2 = 0.37$;

1) 年間乾物収量指数は施肥標準区(対照区, 堆肥無施用)の乾物収量を100とした時の指数

2) 施肥標準区の乾物収量の実数 (kg/10a)。

表3 チモシー単播草地における養分吸収量
(1/2標肥区) (kg/10a)

	堆肥施用		1999	2000	2001	2002
	t/10a	1998*				
窒素 (N)	0	1.0	10.0	11.4	7.2	7.5
	5	1.3	14.5	14.6	8.3	8.5
	10	1.2	12.1	14.1	7.8	8.3
	20	1.2	14.4	17.4	11.8	9.7
	30	1.1	14.9	19.6	11.9	9.8
リン (P ₂ O ₅)	0	0.3	4.8	4.4	3.3	3.4
	5	0.4	6.9	5.7	3.9	4.2
	10	0.4	6.1	5.4	3.9	3.9
	20	0.5	6.8	7.0	5.9	4.5
	30	0.5	8.1	7.6	6.1	4.5
カリ (K ₂ O)	0	1.1	16.5	17.5	12.6	12.6
	5	1.6	25.7	23.4	13.8	13.3
	10	1.5	24.3	26.2	16.1	13.7
	20	1.7	29.6	31.7	20.4	15.2
	30	1.6	32.0	34.8	22.9	16.0

*1998年9月28日掃除刈り

表4 チモシー単播草地における養分吸収増加量*
(1/2標肥区) (kg/t)

養分	堆肥施用量 (t/10a)	1998**	1999	2000	2001	2002
窒素 (N)	0	-	-	-	-	-
	5	0.06	0.91	0.65	0.22	0.19
	10	0.02	0.21	0.27	0.06	0.07
	20	0.01	0.22	0.30	0.23	0.11
	30	0.00	0.16	0.28	0.16	0.08
リン (P ₂ O ₅)	0	-	-	-	-	-
	5	0.02	0.41	0.27	0.13	0.17
	10	0.01	0.12	0.10	0.07	0.05
	20	0.01	0.10	0.13	0.13	0.06
	30	0.00	0.11	0.11	0.10	0.04
カリ (K ₂ O)	0	-	-	-	-	-
	5	0.09	1.83	1.19	0.23	0.13
	10	0.04	0.78	0.87	0.35	0.10
	20	0.03	0.65	0.71	0.39	0.13
	30	0.01	0.52	0.58	0.34	0.11

*U=(U_M-U_{M0})/M

U, 養分吸収増加量 (kg/t);

U_M, 堆肥施用区の養分吸収量 (kg/10a);

U_{M0}, 堆肥無施用区の養分吸収量 (kg/10a);

M, 堆肥施用量 (t/10a)

**1998年9月28日掃除刈り

次に、堆肥施用による養分吸収増加量を以下のように算出して、表4に示した。

$$U=(U_M-U_{M0})/M$$

Uは養分吸収増加量 (kg/t), U_Mは堆肥施用区の養分吸収量 (kg/10a), U_{M0}は堆肥無施用区の養分吸収量 (kg/10a), Mは堆肥施用量 (t/10a) である。堆肥施用量の増加量に比較して、養分吸収量の増大程度は小さかったので、堆肥1t当たりの養分吸収増加量は、堆肥施用量の増加に応じて低下する傾向を示した。その結果、堆肥1t当たりの養分吸収増加量は5t区で最高の値を示した。

また、堆肥1t当たりの養分吸収増加量における年次変化は、養分吸収量の年次変化(表3)と同様に、年数の経過に応じて低下する傾向にあった。

2. チモシー・シロクローバ混播草地

(1) 乾物収量

チモシー・シロクローバ混播草地における乾物収量は、シロクローバによる窒素移譲に伴い、いずれの年次、処理ともに900kg/10a以上の十分な水準を示した。その結果、1999年(更新2年目)の施肥標準区における乾物収量は、堆肥施用量に応じて増加したが、他年次の収量反応は明瞭でなかった。また、堆肥施用量に応じて化学肥料施肥量を調整した減肥区では、明瞭な収量反応が認められなかった(図2)。

(2) 草種構成

堆肥施用がシロクローバの混生割合に及ぼす影響は、5t/10aまでは認められなかった(図2)。

しかし、堆肥の施用量が10t/10aを超えるとシロクローバの混生割合は明らかに低下した。施肥標準区と減肥区を比較すると、減肥区でシロクローバの混生割合が高い傾向にあった。また、堆肥と化学肥料の施用量に関わらず、シロクローバの混生割合は経年的に低下した。

考 察

1. 草地更新時における堆肥の肥効評価

三枝・能代¹⁰⁾は火山灰土壌に立地する草地における更新時にすき込まれた堆肥による窒素の肥効を、更新2年目および3年目に堆肥1t当たりそれぞれ1.0kgおよび0.5kgと設定した。本試験でも、チモシー単播草地において同様の手法で算出された窒素吸収増加量(堆肥1t当たりから牧草が吸収した窒素量)は、堆肥5t/10a施用時の1/2施肥区において上記と同程度の水準を示し、堆肥施用量の増加に伴い低下した(表4)。後述するように、10t/10a以上の堆肥施用量や化学肥料無施用条件では、1番草生育初期における速効性肥料が十分でなく、5t/10a区を上回る生産性を確保できなかったと推察される。そこで、既に減肥可能性が設定されている窒素とカリについて、おおむね良好な収量水準を得たチモシー単播草地の1/2標肥区において、堆肥5t区の養分吸収増加量の平均値と95%信頼区間を求めて比較した。窒素では既往の設定値が更新2, 3, 4年目の順に各々1.0, 0.5, 0.3であるのに対し、本試験の結果では0.91±0.43, 0.65±0.38, 0.22±0.28, カリでは既往の設定値が更新2年目で1.5であるのに対して本試験では1.83±0.80であり、いずれの養分でも既往の設定値は、本試験で算出された養分吸収増加量の95%信頼区間の範囲内であった。

このため、本試験における養分吸収増加量の算出条件は、既往の減肥可能性が算出されたときの条件と変わら

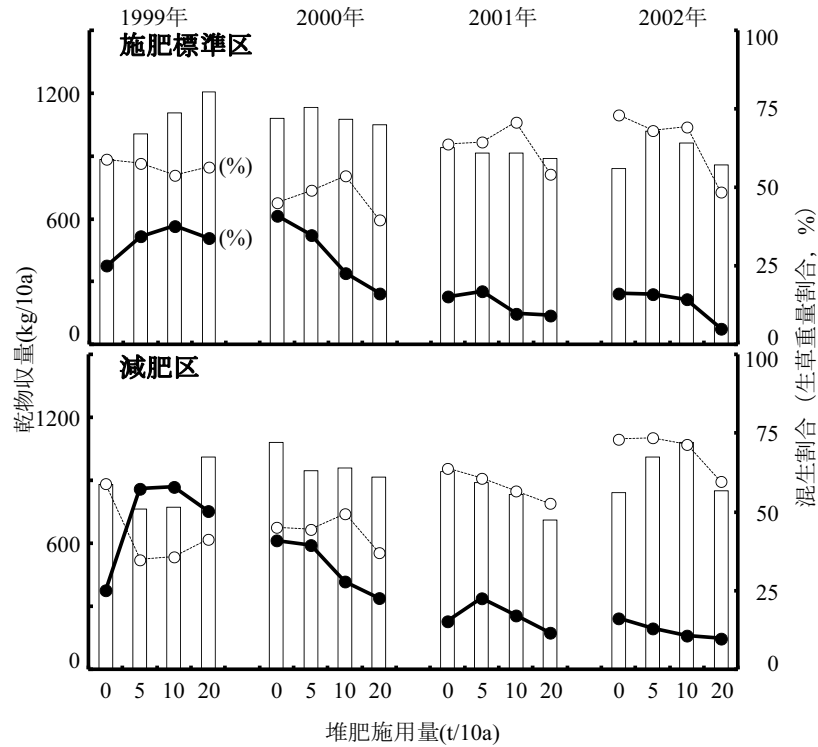


図2 草地更新時の堆肥施用量とチモシー・シロクローバ混播草地の乾物収量および草種構成の関係（年間合計）
 □，乾物収量（雑草を含む総収量）；○，チモシー混生割合（%）；●，シロクローバ混生割合（%）

ないと判断できた。そこで、表4の値をもとに、既往の減肥可能性に本試験により新たに得られたリンと更新3年目におけるカリの減肥可能性を加え、草地更新時の堆肥施用に伴う新たな減肥可能性として、表5に示した。

表5 火山灰草地の更新時における堆肥施用にともなう減肥可能性 (kg/t)

養分	更新年	2年目	3年目	4年目
窒素 (N)	0.5	1.0	0.5	0.3
リン (P ₂ O ₅)	-	<u>0.4</u>	<u>0.3</u>	-
カリ (K ₂ O)	0.5	1.5	<u>1.0</u>	-

2. 草地更新時のチモシー単播草地における堆肥施用限界量

草地更新時の堆肥施用に伴う新たな減肥可能性（表5）によれば、草地を更新してチモシー単播草地を造成する場合、堆肥を20~30t/10a施用時には、更新翌年に堆肥から牧草に供給される養分量が、施肥標準量である窒素

16kg/10a、リン8kg/10a、カリ18kg/10aを超える。その結果、更新翌年の化学肥料は不要と期待されるが、実際のチモシー単播草地における無肥料区の収量水準は、施肥標準区を明らかに下回った（図1）。三枝・能代¹⁰⁾によれば、堆肥8t/10a施用条件における更新翌年の乾物収量を対照区（堆肥無施用区、施肥標準処理）と比較すると、窒素年間9kg/10aの施用では下回り、同12kg/10a以上の施用で同等であった。この理由としては、チモシー1番草が有穂茎数確保のために、早春から窒素を必要とするのに対し、堆肥による窒素供給は無機化により遅延するので、化学肥料による速効性窒素の補給が重要であると指摘されている。上記により、チモシー単播草地において、収量を確保するためには年間10~12kgN/10a速効性窒素肥料が必要と考えられるので、更新翌年のチモシー単播草地における窒素の施肥標準量16kgN/10aのうち、収量を落とさずに堆肥で供給可能な窒素は4~6kgN/10aと算定できる。草地更新時の堆肥施用に伴う新たな減肥可能性（表5）によれば、更新翌年に堆肥から窒素4~6kgN/10aの減肥可能性を得る時の堆肥施用量は、4~6t/10aと計算される。したがって、チモシー単播草地の場合、草地更新時における堆肥の施用上限量は4~6t/10aと設定できる。

3. チモシー・シロクローバ混播草地の更新時における堆肥施用限界量

チモシー・シロクローバ混播草地では、シロクローバの混生割合が施肥標準区よりも減肥区で高い傾向にあったが、減肥区においても、10t/10a以上の堆肥施用では、施用量の増加に伴ってシロクローバの混生割合が低下した。このことから、窒素過剰によるマメ科牧草の衰退が考えられた。したがって、混播草地における堆肥の施用限界量は、堆肥から供給される窒素によるマメ科牧草生育の抑制を防止する観点から、減肥対応が可能な4～6t/10aが適当と考えられた。

以上により、チモシー単播、チモシー・シロクローバ混播草地のいずれにおいても、生産性の面から、更新時における堆肥の施用量は4～6t/10aが適正と考えられた。それ以上の施用は不必要であるばかりでなく、混播草地ではマメ科の衰退をもたらすことも確認された。本試験開始以前より、既存の減肥可能量と北海道施肥標準との関係から、堆肥施用量の目安は5t/10a以内が推奨されてきた²⁾。本試験の結果は、火山灰土壌に立地する草地において、従来の推奨値について科学的根拠を補強したと位置づけられる。したがって、火山灰土壌に立地した草地の更新時における堆肥施用限界量については、牧草生産に必要な最小限の養分量を供給する観点から、従来の目安である5t/10aを変更する必要は無いと結論する。

本試験では、草地更新時の堆肥施用に伴う環境影響評価は行えなかった。上記のように、牧草生産に必要な最小限の養分供給を前提とする場合には、牧草が吸収しきれず草地土壌中で余剰となる養分量は少ないことが期待される。今後は草地更新時における環境負荷量をモニタリングし、窒素やリンの動態解明をすすめ環境保全面から見た有機物の利用・管理指針について、引き続き検討する必要がある。

謝辞 本研究を実施するに当たり、根釧農業試験場草地環境科(現飼料環境グループ)の職員、臨時職員およびに圃場管理に携わる方々にご協力いただいた。各位に心からの謝意を表す。

引用文献

- 1) 早川康夫, 橋本久夫, 奥村純一. 根釧地方火山灰草地における牧草地土壌の理化学的特性とその施肥法に関する試験 第9報 厩肥と瀝汁の肥効について. 北海道立農試集報. 15, 84-100 (1967)
- 2) 北海道農政部. 北海道施肥ガイド. 2002, p225
- 3) 北海道立農業・畜産試験場家畜糞尿プロジェクト研究チーム編. 家畜糞尿処理・利用の手引き 2004. 2004, p.1-93

- 4) 北海道立総合研究機構農業研究本部, 土壌・作物栄養診断のための分析法2012, 2012, 195p
- 5) 松本武彦, 糟谷広高, 扇 勉, 寶示戸雅之. チモシー草地に対するスラリー多量施用が牧草および乳牛に与える影響. 日草誌, 54, 223-229 (2008)
- 6) 日本土壌協会. 堆肥等有機物分析法, 2000. 217p
- 7) 大村邦男. 北海道の畑作・酪農地帯における物質循環と水質保全. 北海道立農業試験場報告. 86, 1-63 (1995)
- 8) 大村邦男, 赤城仰哉. 根釧火山灰草地の施肥法改善 第6報 草地に対する堆肥の施用効果について. 北農. 50(6), 1-23 (1983)
- 9) 大塚雍雄. 折れ線モデルのあてはめ. 農林研究計算センター報告A 14, 1-31 (1978)
- 10) 三枝俊哉, 能代昌雄. 根釧地方の火山灰草地にすぎ込まれた堆肥による窒素減肥可能量. 北農. 60(4), 45-51 (1993)

Estimation of available nutrient content of dairy barnyard manure applied for renovation of sward and its upper limit of application on andosol

Toshinobu KOBAYASHI^{*1}, Takehiko MATSUMOTO^{*2} and Toshiya SAIGUSA^{*2}

Summary

Annual changes in nutrient supply from barnyard manure were estimated to determine the upper limit of its application for renovation of sward on andosol in the eastern part of Hokkaido. Barnyard manure was plowed into the soil at the time of renovation at application rates of 0–300 t/ha for pure timothy sward and 0–200 t/ha for timothy (*Phleum pratense* L.)–white clover (*Trifolium repens* L.) mixture. Application rate tests of chemical fertilizer were carried out in each plot of barnyard manure application. In pure timothy sward, amounts of annual nutrient supply from barnyard manure in the first year and second year after renovation were 1 kg/t and 0.5 kg/t of nitrogen, 0.4 kg/t and 0.3 kg/t of phosphorus (P_2O_5), and 1.5 kg/t and 1.0 kg/t of potassium (K_2O), respectively. Although nutrient supply from more than 200 t/ha of manure was sufficient for annual nutrient requirement in pure timothy sward, recommended dry matter yield could not be maintained without chemical fertilizer, indicating that readily available nutrients are needed for pure timothy sward. Application of more than 100 t/ha of barnyard manure remarkably decreased the legume ratio in timothy–white clover mixture because of excessive nitrogen supply. It is concluded that 50 t/ha of barnyard manure is the upper limit that is effective for grass productivity when renovating sward on andosol in Hokkaido.

^{*1} Hokkaido Research Organization, Kosen Agricultural Experiment Station (Present; Kitami Agricultural Experiment Station, Kunneppu, Hokkaido, 099–1496)

E-mail: koba-toshinobu@hro.or.jp

^{*2} Hokkaido Research Organization, Kosen Agricultural Experiment Station (Nakashibetsu, Hokkaido, 086–1135)

E-mail: matsumoto-takehiko@hro.or.jp, saigusa-toshiya@hro.or.jp