

# 化学肥料を節減した牧草・飼料作物の肥培管理

## 1. はじめに

肥料原料の主要輸出国である中国が、2021年10月より尿素、硝酸アンモニウム、リン酸肥料などの輸出前検査強化を導入し、実質上の輸出規制が発生しました。中国以外の輸出国からの肥料原料調達や、肥料メーカー間の供給調整努力等により、本年春に施用予定の肥料については、概ね供給の目途が立っているようです。しかし、国際的な海上輸送の混乱や、中国の輸出規制解除についても先が不明瞭なことから、今後は中長期的に「化学肥料に頼り過ぎない」牧草・飼料作物の肥培管理方法について準備しておく必要があると思います。

## 2. マメ科牧草の導入による窒素肥料の節減

### (1) 空中窒素固定

マメ科牧草は、根粒菌により空中の窒素を固定します。クローバ等のマメ科牧草の茎葉は土壌で微生物に分解されやすく、イネ科牧草の窒素供給源の働きをします。また、アルファルファでは固定した窒素の一部がイネ科牧草に移譲されます<sup>1)</sup>。

例えば「北海道施肥ガイド2020」<sup>2)</sup>では、混播草地の1番草の生草重量割合(%)を想定したマメ科率により窒素肥料の施用量が調整されています。表

1にチモシー採草地の施肥標準を示しましたが、オーチャードグラス採草地もほぼ同様です。これを見ますと、マメ科率が10~15%増えると、概ね4~6 kg/10aの窒素が節減できることが分かります。

しかし、北海道の牧草地を2012~2014年に12,000筆ほど草種割合を調査した結果、マメ科牧草の冠部被度(%)は平均で9.4%<sup>3)</sup>とマメ科牧草の窒素固定能力を十分に活用されていないのが現状でした。

### (2) 追播による導入

アカクロバやシロクロバは、分厚いルートマットを形成していない草地であれば、1番草収穫直後に炭酸カルシウム(以下、炭カル)等で土壌pHを適正に矯正し、播種量1 kg/10a程度の作溝追播か、軽い表層攪拌等の簡易更新で播種することで、播種翌年には10~30%程度のマメ科牧草を導入することができます<sup>4), 5)</sup>。詳細な施工方法や多くの導入事例の情報は「マメ科牧草追播マニュアル」の情報をネットで入手することができます。窒素肥料節減の効果的な技術として検討する価値があると思います。

表1 チモシー(TY)採草地の施肥標準(北海道施肥ガイド2020、単位kg/10a、年間)

| 地帯             | マメ科率区分 |        |       | 低地・台地・火山性土 |                               |                  | 泥炭土 |                               |                  |
|----------------|--------|--------|-------|------------|-------------------------------|------------------|-----|-------------------------------|------------------|
|                | 区分     | マメ科率   | TY率   | N          | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 道南<br>道央<br>道東 | 1      | 30%以上  | 50%以上 | 4          | 8~10                          | 18               | 2   | 10                            | 22               |
|                | 2      | 15~30% | 50%以上 | 6          | 8~10                          | 18               | 4   | 10                            | 22               |
|                | 3      | 5~15%  | 50%以上 | 10         | 6~8                           | 18               | 8   | 8                             | 22               |
|                | 4      | 5%未満   | 70%以上 | 16         | 6~8                           | 18               | 14  | 8                             | 22               |
| 道北             | 1      | 30%以上  | 50%以上 | 4          | 8                             | 15               | 2   | 10                            | 22               |
|                | 2      | 15~30% | 50%以上 | 6          | 6                             | 15               | 4   | 10                            | 22               |
|                | 3      | 5~15%  | 50%以上 | 10         | 6                             | 15               | 8   | 8                             | 22               |
|                | 4      | 5%未満   | 70%以上 | 16         | 6                             | 15               | 14  | 8                             | 22               |



写真1 イネ科優占草地に作溝追播したアカクロバの定着(北海道紋別郡興部町、左2016年9月29日追播後90日目：根粒菌を確認、右2017年6月28日播種翌年)

### 3. 過去の長期（肥料）三要素試験から学ぶこと

#### （1）リン酸、カリウム施用とマメ科草の重要性

図1は北海道標津郡中標津町において、混播草地に15年間（1967年～1981年）にわたり、窒素、リン酸、カリウム（以下、カリ）について各要素の施用を制限し続け、年間乾物収量および草種構成への影響を調査した結果です<sup>6)</sup>。

無窒素区（-N区）では、マメ科牧草の割合を高く維持し、15年間にわたってほぼ一定の収量水準で推移するとともに、三要素施用区（3F区）並みの高い年間乾物収量を維持しました。

無リン酸区（-P区）では、4年目までは比較的高い収量を維持しましたが、5年目以降はイネ科牧草、マメ科牧草とも急激に低下していきしました。無カリ区（-K区）では、造成2年目から収量が低く、マメ科草は消失し、無肥料に近い状態になりました。

リン酸、カリを必要量施用して、マメ科牧草を維持することが、牧草収量を維持するうえで重要であることがわかります。

#### （2）堆肥の長期連用効果

長野県北佐久郡御代田町においても、1966年に造成した混播草地で長期の（肥料）三要素試験が行われております<sup>7)</sup>。試験処理として、（肥料）三要素についてN, P, K, NP, NK, PK, NPK施用の全ての組み合わせと無施肥区からなる8処理区を設置し、さらにすべての処理区に堆肥施用（現物2～2.5t/10a年）の有無を設けています。

図2に上記の肥培処理管理を続けた年合計乾物収量と三要素の（植物体の）養分吸収量の34年間の平均値を示しました（堆肥施用区は上記処理区名に+を付記）。

乾物収量は堆肥を連用（a右側+区）した処理区は、いずれかの要素が欠けた化学肥料の施用管理をしても安定して多収を示しました。

窒素吸収量（b）、リン吸収量（c）とカリ吸収量（d）においても、堆肥を連用（b, c, d右側+区）した区の植物体は、いずれかの要素が欠けた化学肥料の施用管理をしても比較的安定して要素を吸収しました。

同様の反応は、気象や土質が全く異なる北海道浜頓別町においても実証されており<sup>8)</sup>、化学肥料施用と現物2t/10a年程度の堆肥の連用を併用すると、

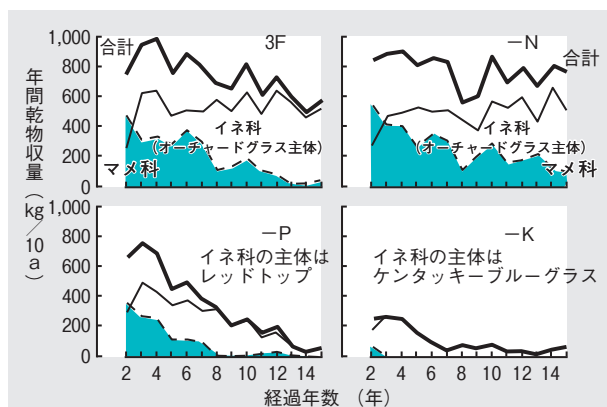


図1 年間乾物収量の推移（大村ら、1985）

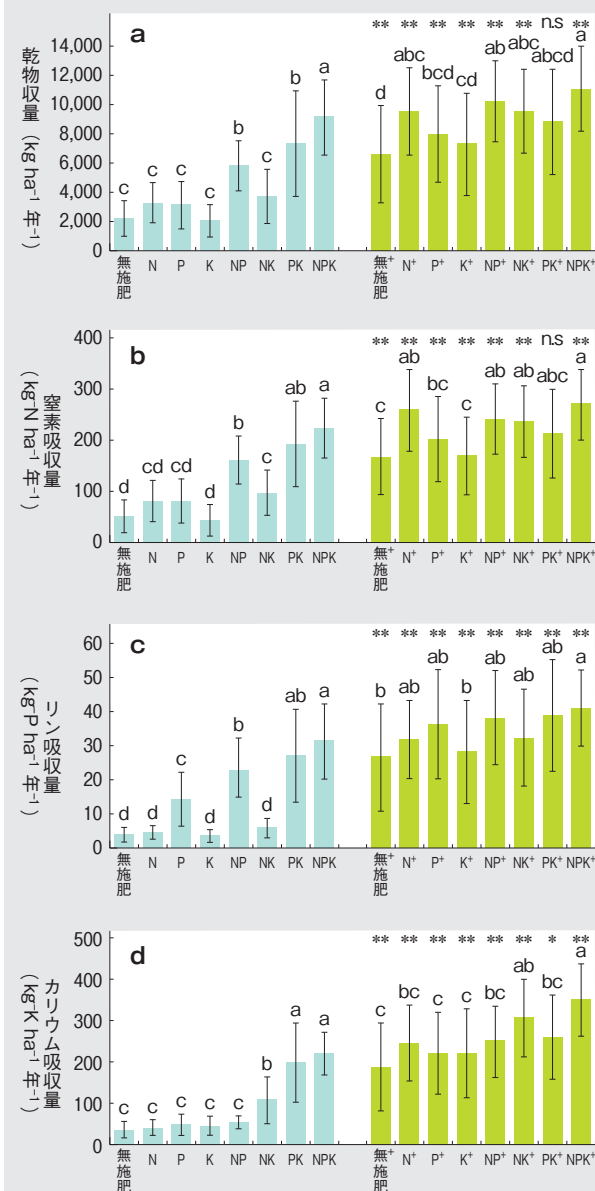


図2 処理区毎の年合計乾物収量（a）と年合計窒素（b）、リン（c）およびカリウム（d）吸収量の34年間平均、右側+区は堆肥を連用（山田ら、2011）

土壌のリン酸は安定して蓄積していきました。

以上の長期三要素試験の結果をまとめると、マメ科牧草を導入・維持し、堆肥等の家畜ふん尿を連用することで、化学肥料を相当節減しても高い牧草の収量を長期にわたり確保できることが分かります。

日本全体で1年間に発生する家畜ふん尿の量は約8千万トンと推計され、近年わずかに増加しています<sup>9)</sup>。また、家畜ふん尿に限らず、下水汚泥やし尿汚泥、その他食品工業汚泥にも肥料養分が含まれており、肥料取締法において基準値が定められている重金属の含量に留意しながら活用することができます。

化学肥料を使用しない牧草・飼料作物の栽培技術はオーソライズされた報告もありますが<sup>10)</sup>、筆者が訪問させて頂いている酪農家さんの中にも、実際に家畜ふん尿主体の無化学肥料の肥培管理で、高い収量の牧草を生産し、自給飼料主体の営農をされている方々もいらっしゃいます。大変参考になります。

#### 4. 炭カル散布の重要性

化学肥料節減のため、マメ科牧草を導入・維持し、家畜ふん尿等のリン酸を有効に活用する上で最も重要なポイントは、炭カル等を施用して土壌pHを5.5以上(pH5.5~6.5)に保つ事です。

リン酸は施用された一部が作物に吸収利用されるだけで、残りのほとんどが土壌に固定されます。特に火山性土壌は土壌の活性アルミニウムが多く、土壌pHが低下すると活性アルミニウムがリン酸を強く固定し植物のリン酸吸収を阻害します。一方、カルシウムに固定されたリン酸は作物に利用されやすく、有効態リン酸になります。牧草や飼料作物の生産性を高めるためには、炭カルを散布して、土壌中

の有効態リン酸を増やすことが重要です<sup>11)</sup>(図3)。また、炭カルの施用は、窒素施肥削減条件下で、牧草収量を維持するために重要なマメ科牧草の維持にも必要です。マメ科牧草は低い土壌pH環境下では、初期生育が不良になり定着が難しく(写真2)、カルシウム、マグネシウムの要求量がイネ科牧草より多く、土中のこれら成分が低下してくるとマメ科牧草の衰退につながります<sup>12)</sup>。

### 5. 家畜ふん尿の「何を」「どれ位」「どの様に」施用するか

#### (1) 家畜ふん尿の基本的な活用方法

家畜ふん尿は窒素、リン酸、カリの三要素を含んだ肥料資源です。しかし、家畜ふん尿に含まれる養分量は、家畜種、貯留処理の形態、地域や経営内容によってばらつきがあり、化学肥料の様に品質が安定していません。また、施用される草地・飼料畑の土壌自体に含まれている養分蓄積状態にもばらつきがありますので、必要とされる施用量を以下の方法で計算しなくてはなりません。計算方法の詳細については、「北海道施肥ガイド2020」<sup>2)</sup>や「家畜ふん尿処理・利用の手引き2004」<sup>13)</sup>に計算事例も含めて記載があります。

##### ①家畜ふん尿中の肥料養分量の把握

：分析または電気伝導度等からの簡易推定

##### ②有機物から供給される肥料養分量の算出

A 分析値がある場合

：肥料養分量×基準肥料換算係数

B 分析値がない場合：肥料養分量表参照(表2、表3)

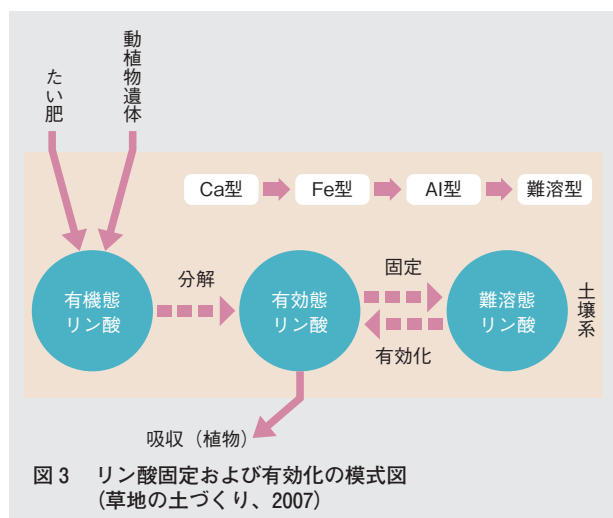


図3 リン酸固定および有効化の模式図 (草地の土づくり, 2007)

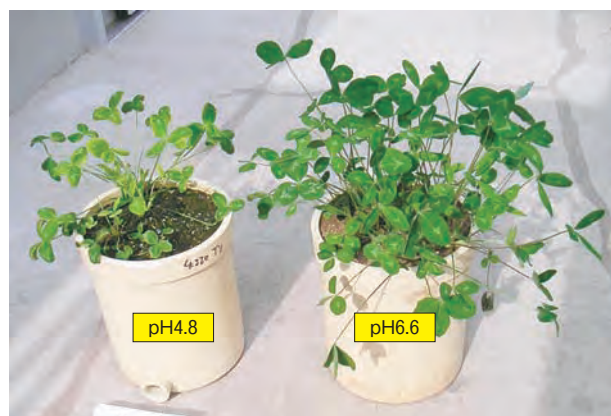


写真2 播種時の土壌pHがアカクローバの初期生育に及ぼす影響 (播種後69日目)



### ③有機物施用上限量の算出

：必要肥料養分量のうち、有機物で補完される養分の最小量が上限量です。一般的にはカリの施用基準値で頭打ちになるふん尿の量となります。

### ④化学肥料施肥量の算出：有機物上限量を施用して、不足の養分量を化学肥料で補完

有機物から供給される肥料養分量の算出は②のAの様に分析を行うのが基本ですが、肥料価格が著しく高騰し、肥料の供給が不安定な状況になると、土壌や家畜ふん尿等の分析依頼が殺到して分析が追い

付かなくなることと想定されます。

北海道における、分析値がない場合の有機物施用により維持管理時草地に供給される肥料養分量（②のB、kg/現物 t）を表2に示します。

## （2）都府県における家畜ふん尿・地域資源等による肥料代替

都府県における家畜ふん尿の利用方法についても、農林水産省のHPの「都道府県施肥基準等」([https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_sehi\\_kizyun/](https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/))のサイトに、殆どの都府県の「施肥基準」および、家畜ふん尿や地域資源等を活用した「減肥基準」、その計算方法、活用法等が掲載されています。

都府県の家畜ふん尿等は、北海道のものと平均的な水分含量や養分含量等が異なりますので、最寄りの都府県の値を参考にするのが良いと思います。

例として、表3に福島県施肥基準に掲載されている各種有機物の有効成分量表を示します<sup>14)</sup>。

| 有機物  | 土 壌   | 牧草に供給される養分量 (kg/t, FM) |                               |                  |
|------|-------|------------------------|-------------------------------|------------------|
|      |       | N                      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 堆 肥  | 火山性土  | 1.0 (0.5) *            | 1.0 (－)                       | 3.0 (－)          |
|      | 鉾 質 土 | 1.0 (0.5)              | 1.0 (－)                       | 5.0 (1.0)        |
| スラリー |       | 2.0 (－)                | 0.5 (－)                       | 4.0 (－)          |
| 尿    |       | 5.0 (－)                | －                             | 11.0 (－)         |

\* ( ) は施用翌年の残効

| 種別     | 有機物名       | 成分量 (kg/現物t) * |    |     |      |     |    | 有効成分量 (kg/現物t) * |     |      | 有効化率 (%) ** |     |      |
|--------|------------|----------------|----|-----|------|-----|----|------------------|-----|------|-------------|-----|------|
|        |            | 水分 (%)         | 窒素 | リン酸 | カリウム | 石灰  | 苦土 | 窒素               | リン酸 | カリウム | 窒素          | リン酸 | カリウム |
| 家畜ふん堆肥 | 牛ふん        | 50             | 11 | 15  | 15   | 21  | 7  | 2                | 9   | 13   | 20          | 60  | 90   |
|        | 豚ふん        | 29             | 27 | 50  | 21   | 45  | 18 | 14               | 35  | 19   | 50          | 70  | 90   |
|        | 鶏ふん        | 20             | 28 | 59  | 31   | 127 | 18 | 17               | 41  | 28   | 60          | 70  | 90   |
| 木質混合堆肥 | 牛ふん        | 58             | 8  | 10  | 11   | 11  | 5  | 1                | 5   | 10   | 10          | 50  | 90   |
|        | 豚ふん        | 44             | 14 | 30  | 15   | 29  | 8  | 4                | 18  | 13   | 30          | 60  | 90   |
|        | 鶏ふん        | 37             | 23 | 38  | 20   | 40  | 17 | 7                | 23  | 18   | 30          | 60  | 90   |
| その他の堆肥 | 稲わら        | 75             | 4  | 2   | 4    | 1   | 1  | 1                | 1   | 4    | 30          | 50  | 90   |
|        | 剪定くず       | 64             | 5  | 1   | 2    | 10  | 2  | 0                | 1   | 2    | 0           | 50  | 90   |
|        | パーク        | 61             | 5  | 3   | 3    | 21  | 9  | 0                | 2   | 3    | 0           | 50  | 90   |
|        | モミガラ       | 55             | 5  | 6   | 5    | 7   | 1  | 1                | 3   | 4    | 20          | 50  | 90   |
|        | 都市ゴミ       | 47             | 9  | 5   | 5    | 24  | 3  | 3                | 3   | 4    | 30          | 60  | 90   |
|        | 下水汚泥堆積物    | 58             | 15 | 22  | 1    | 43  | 5  | 12               | 15  | 1    | 60          | 70  | 90   |
|        | 食品産業廃棄物    | 63             | 14 | 10  | 4    | 18  | 3  | 10               | 7   | 3    | 70          | 70  | 90   |
| 緑肥     | レンゲ        | 77             | 6  | 1   | 3    | 3   | 1  | 2                | 1   | 3    | 30          | 50  | 90   |
|        | ソルゴー       | 80             | 3  | 1   | 8    | 1   | 1  | 1                | 1   | 7    | 20          | 50  | 90   |
|        | イタリアンライグラス | 78             | 4  | 1   | 7    | 2   | 1  | 1                | 1   | 6    | 30          | 50  | 90   |
|        | トウモロコシ     | 81             | 4  | 1   | 2    | 3   | 1  | 1                | 1   | 2    | 30          | 50  | 90   |

\*) 成分量、有効成分量は、神奈川県（1994、2001）を参考に作成した。

\*\*) 有効化率は、神奈川県（1994、2001）及び千葉県（2001）を参考に作成した。

### （３）国における家畜ふん尿・地域資源等への支援

農水省においても、国際市況の影響を強く受けた昨今の化学肥料原料の国際価格の上昇に対応し、慣行の施肥体系から地域に適した肥料コスト低減体系への転換を進める取り組みを支援する動きがあります（令和３年度補正予算・令和４年度実施）。この「肥料コスト低減体系緊急転換事業」では、分析費用や家畜ふん尿・地域資源の運搬・散布経費、緑肥の栽培活用等の補助のほか、様々な肥料コスト低減技術への補助が盛り込まれています。農林水産省HP（[https://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s\\_hiryo/211208.html](https://www.maff.go.jp/j/seisan/sien/sizai/s_hiryo/211208.html)）のサイトに詳細が掲載されています。参考になれば幸いです。

## ６．家畜ふん尿・地域資源活用、肥料低減技術活用の留意事項

### （１）収穫牧草に家畜ふん尿が混入しない様に10cm以上の刈取り高さで刈る：

家畜ふん尿を散布した草地の牧草の刈取り高さを5cmで収穫したサイレージは、10cmで収穫したサイレージよりもアンモニア態窒素が高い報告があります<sup>15)</sup>。また、スラリー（液状堆肥）の散布は、散布時期が収穫時期に近く、量が多くなるほど原料牧草にスラリーが付着して、サイレージ品質が低下します<sup>15)</sup>。弊社のサイレージ分析値の中にも、家畜ふん尿が混入して酪酸発酵したサイレージを見かける時があります。家畜ふん尿混入によるサイレージ品質低下を防ぐため、刈取り高さに注意しましょう。

### （２）堆肥とスラリーの窒素形態の違いと、窒素無機化にかかるタイムラグの違い

散布した家畜ふん尿に含まれる窒素とリン酸が利用できるようになるためには、微生物による分解（無機化）とそれに必要な温度を要します<sup>11、16)</sup>。そのため化学肥料と異なり、特に有機態窒素が多い牛ふん堆肥では、散布してから肥料効果が表れるまでにタイムラグが発生します。堆肥を連用している場合は、表２の様に翌年への残効が重なり、連用３年目以降は安定した肥料効果が期待できます<sup>17)</sup>。

スラリーはアンモニウム態窒素の割合が高いため、ある程度、化学肥料の様に速効的に作用します<sup>18)</sup>。

そのため、北海道では家畜ふん尿を活用した飼料用トウモロコシの窒素施肥対応において、堆肥を投入した分の窒素は追肥分の窒素を減肥し、スラリーを投入した分の窒素は基肥と追肥の両方から等量の肥料を減肥する基準になっています<sup>2、19)</sup>。

### （３）家畜ふん尿の利活用と雑草防除、牧草追播

堆肥やスラリー等を積極的に活用する様になるとギンギン等の雑草が増える傾向にあります<sup>20)</sup>。

雑草防除を行い、裸地には牧草を追播して、実生雑草が定着し難い環境をつくりましょう。

### （４）飼料用トウモロコシの化学肥料節減技術

北海道では、「腐熟堆肥＋尿」に鶏糞を補給することで、家畜ふん尿のみの肥培管理で化学肥料と同程度の収量が得られる技術が報告されています<sup>10)</sup>。

草地からトウモロコシへの転換の場合はリン酸の垂直分布の報告から、深く耕起せずに混和し、0-15cm深に蓄積されているリン酸を有効活用すると良いでしょう<sup>7)</sup>。

また、東北では、シロクロバを被覆植物としたリビングマルチを活用し、雑草の防除と窒素・リン酸の化学肥料節減技術が開発されています<sup>21)</sup>。この技術では、雑草防除効果をより確実にしてトウモロコシの生育抑制を軽減するために、トウモロコシの播種時期を若干遅らせる必要があります。北海道では、東北よりも春の地温が低く、積算気温も少ないので、この技術を試してみるとトウモロコシの初期成育が不良で登熟が十分に進まない事例が多かったです。

## ７．おわりに

今回ご紹介させて頂いた技術情報は、かなり前に確立されている技術も多いのですが、海外から輸入された化学肥料で成り立っていた生産体系から科学肥料に頼りすぎない体系に移行するにあたっては、過去に先輩たちが取り組んだ技術パーツをもう一度洗い直して現在の状況に合わせて組み立てる必要を感じました。

配合飼料や輸入乾草などの購入飼料についても、国際情勢・市況の影響を強く受けて高騰が続いています。肥料と同様に、自給飼料を見直す時期だと考えます。

## ８．引用文献

- 1) 東田修二、「天北地方における重粘土草地の土壌微生物活性と牧草生産」北海道立農業試験場報告第80号：P67-123（1993）
- 2) 北海道農政部、「北海道施肥ガイド2020」：P179-208（2020）
- 3) （一社）日本草地畜産種子協会、北海道自給飼料改善協議会、「強害雑草防除マニュアル2016（北海道版）」：P2（2016）

- 4) 北海道農政部、「マメ科牧草追播マニュアル」  
<https://www.hro.or.jp/list/agricultural/research/tenpoku/magazine/beanmanual/overseed.pdf> (2002)
- 5) 佐藤尚親、「北海道における簡易更新によるマメ科牧草の導入方法」牧草と園芸 第53巻第2号：P1-6 (2005)
- 6) 大村邦男ら、「火山灰草地における施肥管理が草地の経年変化に及ぼす影響」北海道立農試集報52：P65-76 (1985)
- 7) 山田大吾ら、「肥料三要素，堆肥長期連用試験草地での連用34年間における土壌の化学性の変化と養分蓄積」日本土壌肥料化学雑誌83-3：P214-223 (2011)
- 8) 北海道農政部「天北地方の草地に対する堆肥の長期施用効果の実証」平成11年普及奨励ならびに指導参考事項 (1999)
- 9) 農林水産省生産局畜産振興課「畜産環境をめぐる情勢」(2020)
- 10) 北海道農政部「チモシー主体草地および飼料用とうもろこしの有機栽培法」平成19年普及奨励ならびに指導参考事項 (2007)
- 11) 北海道農協「土づくり」運動推進本部、北海道農政部、「草地の土づくり」：P50 (2007)
- 12) 高山光男、「牧草地の上手な施肥方法」牧草と園芸 第38巻第5号 (1990)
- 13) 北海道立農業・畜産試験場家畜ふん尿プロジェクト研究チーム、北海道農業改良普及協会、「家畜ふん尿処理・利用の手引き2004」
- 14) 福島県農林水産部、「福島県施肥基準」「土壌肥料技術指針」：P37 (2019)
- 15) 根室農業協同組合連合会、「サイレージの達人」：P8 (2010)
- 16) 北田敬宇、「灰色低地土における施用有機物の分解過程」石川農試研報16：P67-80 (1988)
- 17) 湯藤健治「草地に対する堆肥の長期施用効果」牧草と園芸 第47巻第10号 (1999)
- 18) 松本武彦ら「チモシー草地に対するスラリーの多量施用が牧草生産性、乳牛の泌乳量および血液成分に与える影響」日本草地学会誌54巻3号：P223-229 (2008)
- 19) 北海道農政部「土壌診断による飼料用とうもろこしの窒素施肥対応」平成29年普及奨励ならびに指導参考事項 (2017)
- 20) 根本正之ら、「石礫地草地における堆肥施用が雑草群落に及ぼす影響」雑草研究35：P84-87 (1990)
- 21) 魚住順ら、「シロクロバを用いたリビングマルチ栽培における飼料用トウモロコシの播種適期」東北農研研報 第102号：P93-100 (2004)