

[5] 草地・飼料作物

1 土壌の特徴と管理方法

(1) 草地土壌の特徴

本県の草地土壌は大部分が火山灰に由来しており、次のような欠陥がある。

- ① 石灰や苦土含量が少ない上に、保肥力も弱く、これらの塩基が溶脱しやすいため強酸性土壌となっている。
- ② リン酸固定力が大きく、有効態りん酸が欠乏している。
- ③ カリ含量が多く、苦土が極めて少ないため、苦土/カリ比が1以下の苦土欠乏土壌である。
- ④ 腐植含量は多いが分解しにくく、肥料的価値は低い。

したがって、草地の造成に当たってはこれらの点に留意し、欠陥を補うような土づくりや肥培管理を行うことが必要である。

ア 草地土壌養分の適否判定基準

草地土壌養分の適否判定基準を示すと表135のとおりである。適量Ⅰは家畜栄養面から、適量Ⅱは牧草収量面からみた基準値である。なお、当基準値は主に火山灰土(黒ボク土)に適用される。

表135 草地土壌養分の適否判定基準

区分	p H (H ₂ O)	有効態りん酸 (mg/100g)	交換性塩基 (mg/100g)			
			石灰	苦土	カリ	苦土/カリ
適量Ⅰ	—	2.0以上	200以上	13~25 ^{※1} 25以上 ^{※2}	—	—
適量Ⅱ	6.0以上	0.8以上	170以上	8以上	8~18	2以上

注) ※1は牧草中のMg含有率が0.33%以上、※2はMg含有率が0.2~0.33%の場合

イ 公共草地の土壌養分状態

県内の31公共草地について土壌調査した結果を上記基準に基づいて区分すると表136のとおりである。

表136 公共草地の土壌養分 (平3. 青森畜試)

	5.5以下	5.5~6	6以上	
p H (H ₂ O)	10 (32%)	17 (55%)	4 (13%)	
有効態りん酸 (mg/100g)	0.8以下 13 (42%)	0.8~2 11 (35%)	2以上 7 (23%)	
交換性石灰 (mg/100g)	170以下 24 (77%)	170~200 3 (10%)	200以上 4 (13%)	
交換性苦土 (mg/100g)	8以下 9 (29%)	8~13 6 (19%)	13~25 8 (26%)	25以上 8 (26%)

注) 下段の数値は公共草地数、()内はその割合。

- ① 全般に石灰分が不足し、酸性化が進んでいる草地が多い。これは、造成後石灰

質肥料の追肥がほとんど行われていないことが原因となっている。土壌の酸性化は降雨や窒素肥料の施用により促進されるため、草地の利用段階において定期的に石灰質肥料を追肥することにより、石灰分の補給と土壌酸性改良を図ることが必要である。

- ② 家畜の健康維持の面から苦土不足を示す草地が約半数を占めている。放牧家畜は、主に牧草から栄養分を摂取することから、家畜の要求量を満たすように苦土を追肥するなどの対策が必要である。
- ③ 牧草の生育からみて有効態りん酸が不足している草地が約40%ある。これは放牧牛の減少により全般に施肥量が少なくなったことによるものである。
- ④ カリは、土壌からの天然供給量が多いことや、家畜ふん尿が還元されることから、石灰や苦土と異なり、過剰面で問題となることが多い。カリ過剰の土壌では、牧草はカルシウムやマグネシウムの吸収が抑えられ、牧草中のミネラルバランスを悪くし、家畜の健康に悪影響を及ぼすため、カリ施肥は土壌のカリ含量を考慮し必要最小限にとどめるべきである。

このように本県の草地土壌は酸性化が進み石灰や苦土が不足しているとともに、全般に十分な施肥が行われていない養分状況にある。このため、草地の造成・更新に当たっては、「良い草は良い土から、良い牛は良い草から」の基本概念を遵守するような土づくりが必要である。

(2) サイレージ用トウモロコシ畑土壌の特徴

サイレージ用トウモロコシの栽培では牛ふん堆肥の施用が慣行となっていることから、堆肥の多用による養分過剰や養分間の不均衡により、トウモロコシの品質悪化や生育障害等の問題が生じてきている。

このようなことから、トウモロコシの栽培に当たっては、堆肥施用量の適正化、土壌養分間の均衡維持、並びに堆肥施用量に応じた化学肥料の施用など、収量及び品質面を考慮した土づくりや施肥法が必要となっている。

県内の酪農専業農家38戸のサイレージ用トウモロコシ連作畑について土壌調査した結果を示すと表137のとおりである。

表137 トウモロコシ連作ほ場における土壌養分 (昭62. 青森畜試)

地区名	pH (H ₂ O)	有効態りん酸 (mg/100g)	交換性塩基 (mg/100g)		
			石灰	苦土	カリ
北部上北 (9戸平均)	6.0	4.1	268	30.4	49.8
十和田 (9戸平均)	6.2	9.8	222	40.6	39.1
下北 (10戸平均)	5.9	16.4	320	30.4	53.8
三戸 (10戸平均)	6.1	13.2	237	19.6	22.4

- ① 有効態りん酸含量は北部上北地域を除けば10mg/100g程度あるいはそれ以上を示し、全般に高水準にある。
- ② 交換性塩基含量は土壌改良目標値に対し、石灰及び苦土が不足、カリが多い状態にある。

- ③ 表には示さなかったがミネラル比からみて、全般に苦土が欠乏しやすい土壌が多く、また、カリ過剰の状態である。

2 土壌改良基準

(1) 牧草

草地は長年にわたって利用するため、草地造成時には草地生産力を安定的に持続させることや家畜の健康を維持できる品質の良い牧草を作ることを考慮した土づくりが必要である。特に、本県の土壌は石灰、苦土及びりん酸が不足しているため、これら成分を重点的に補給し、牧草の生育促進及びミネラル組成の適正化を図ることが土づくりを行う上での目標となる。

ア 石灰質肥料の施用

(ア) 石灰質肥料の施用量

土壌の酸性改良は、改良対象土層のpH(H₂O)を6.0～6.5にすることを目標にする。この場合、イネ科単播草地ではpH6.0、イネ科、マメ科混播草地やマメ科単播草地ではpH6.5を改良目標とする。

石灰施用量の算出は原則として緩衝曲線法によるが、実験設備その他の関係で本法の採用が困難な場合は、pH(H₂O)だけを測定し、アレニウス表から炭カル施用量を求め、使用する石灰質肥料のアルカリ度で補正する。また、未耕地の場合は表138を基準としてもよい。

表138 未耕地土壌の石灰質肥料施用基準(改良深15cm)

地帯別	石灰質肥料施用量 (kg/10a)
	(炭カル、苦土炭カル、てんろ石灰等)
十和田—八甲田系、下北系火山灰土壌	400～500
岩木系火山灰土壌	500～600

(イ) 耕起深度及び酸性改良深度

牧草の活性根の分布及び深耕の効果などから判断して、耕起深及び酸性改良深は15cmとする。

牧草の多収技術の一つに深耕がある。深耕については根域の拡大に伴う養水分の吸収量の増が期待されるが、実際は良い結果が得られていない。その理由は深耕によって、多くの場合、作土層にやせた下層土が混入し、かえって生産力の低下をもたらすためである。また、深耕の場合は改良資材の多投と多肥を必要とするので必ずしも得策ではない(表139参照)。

表139 牧草根の土壌深度別重量(風乾物kg/10a)

牧草草種	土壌の深さ			計
	0～10cm	10～20cm	20～30cm	
オーチャードグラス	653 (92)	40 (6)	18 (2)	711 (100)
ラジノクローバ	311 (89)	40 (6)	—	351 (100)
イタリアンライグラス	427 (68)	204 (32)	—	631 (100)

() 内は計を100とした数値 (島根畜試一部改変, 1962)

(ウ) 施用方法

酸性改良を効果的に行うためには、石灰質肥料と土壌を均一に混和することが必要である。石灰質肥料施用量が600kg/10a以下の場合には、耕起後、砕土整地前に全量施用する。

600kg/10a以上の場合には、耕起前と後に半量ずつ施用する。

(エ) 石灰質肥料の種類と特徴

a 酸性改良上の特徴

土壌の酸性改良効果は、石灰質肥料の種類によって異なる。炭カルは速効的、ケイカルは遅効的に作用し、てんろ石灰は中間にあり緩効的な酸性改良効果をもたらす。また、苦土炭カルは炭カルよりも溶解速度が遅いため、やや緩慢に作用する。これらのほかに、炭カルよりも速効的な効果を示す生石灰や消石灰は石灰過剰になりやすいので、草地造成に使用することは好ましくない。

b 成分量と施用量の換算

草地造成時に使用する石灰質肥料は炭カルが多いが、苦土の少ない土壌が改良対象となる場合には苦土入り石灰質肥料が適切である。施用量は、アルカリ度換算（可溶性石灰と可溶性苦土の石灰に換算される量の合計量）にて決定する。炭カル以外の石灰質資材を使用する場合の換算値は、表140のとおりである。

表140 石灰質肥料のアルカリ分と換算値

資材の種類	炭カル	苦土炭カル	てんろ石灰
アルカリ分 (%)	53	55	53
炭カルからの換算値	× 1	× 0.96	× 1

(オ) ようりんの酸性矯正効果による石灰質肥料施用量の減量（「草地開発整備事業計画設計基準（平成19年8月）」より抜粋、一部改変）

ようりんはアルカリ分を含むため、ようりんの施用に応じて石灰質肥料の施用量を減じることができる。

粒状ようりん、砂状ようりんの酸性矯正効果は炭カルに比べ若干遅れる傾向があるが、pH緩衝曲線から求めた炭カル代替率は、粒状ようりんでは1.0、砂状ようりんでは0.8である。

ようりんを用いることによる石灰質肥料施用量を減らせる量の算出は、次式による。

$$y = P \times A \times B \div C$$

y : 10a当たりの石灰質肥料減量の値

P : 10a当たりのようりん施用量 (kg)

A : ようりんの表示アルカリ分 (%)

B : ようりんの酸性矯正効果代替率 (粒状ようりんでは1.0、砂状ようりんでは0.8)

C : 施用石灰質肥料の表示アルカリ分 (%)

計算例

炭カルとして1,500kg/10aの施用を予定している草地に、砂状ようりんを200kg/10a施用する場合、

10a当たりのようりん施用量 (P) : 200kg

砂状ようりんのアルカリ分 (A) : 50%

砂状ようりんの酸性矯正効果代替率 (B) : 0.8

炭カルのアルカリ分 (C) : 53%

$$10a当たりの石灰質肥料減量 = \frac{200\text{kg} \times 50\% \times 0.8}{53\%} \doteq 150\text{kg}/10a$$

よって、炭カルの施用量は1,500kg/10a - 150kg/10a = 1,350kg/10aとなる。

イ リン酸質肥料の施用

(ア) リン酸質肥料の施用量

リン酸質肥料の施用量は、土壌中の有効態りん酸（トルオーグリン酸）含量を2mg/100gにすることを目標にして施用する。そのためのりん酸施用量は次の式から求める。

$$Y = 15 + 0.005A + B$$

Y : 10a当たりのりん酸施用量 (kg)、ただし $Y \geq 20$

A : リン酸吸収係数

B : 有効態りん酸含量から得られた値とし次表による。

有効態りん酸含量	Bの値
0.8mg/100g以下 (8ppm以下)	5.0
0.8mg~2.0mg (8~20ppm)	2.5
2.0mg/100g以上 (20ppm以上)	0

実験設備その他の関係で有効態りん酸含量やりん酸吸収係数を測定できない場合は、表141を基準にしてもよい。

りん酸施用量を収量面と家畜のりん酸要求面の二つに分けた理由は、次のとおりである。

草地造成時のりん酸施用量が20~30kg/10aまでは、牧草の増収反応は顕著である。しかし、40~50kg/10aでは収量には反応せず、リン含有率が上昇する反応、すなわち、リン蓄積反応を示す。家畜のリン要求量を満たすためには、リン蓄積反応を示す領域の牧草を生産することが望ましい。

表141 未耕地および更新時のりん酸質肥料施用基準 (P_2O_5 kg/10a)

地帯別	収量確保のための 施用量	家畜のりん酸要求量を満たす 牧草を生産するための施用量
十和田一八甲田系、 下北系火山灰土壌	20~25	40~50
岩木系火山灰土壌	25~30	

(イ) 施用深度及び施用方法

りん酸質肥料は施用量が少ないので、効果を上げるため、表層にごく浅く混和するか、表面散布とする。

施用時期は、砕土終了後、は種までの期間である。具体的には化成肥料（基肥）と同時に散布する。したがって、石灰質肥料とりん酸質肥料は別々に施用することになる。

a 施用効果の特徴

りん酸質肥料のりん酸成分は、溶解性の難易によって、水溶性、可溶性及びク溶性に分類される。水溶性りん酸は作物に速効的に作用するが、土壤中で不可給化されやすいので土壌改良の効果は小さい。また、可溶性及びク溶性りん酸は作物には緩効的な肥効をもたらすが、徐々に溶解してくるため土壌中の有効態りん酸含量を高める効果大きい。したがって、草地造成時にはク溶性りん酸を多く含んだりん酸質肥料が土壌改良資材として有効である。

b 成分量と施用量の換算

草地造成時には主にク溶性りん酸から成るようりんが使用されているが、りん酸質肥料のりん酸成分を一部、生産用に充当する場合には、ク溶性りん酸だけでなく水溶性りん酸も含んだ資材を使用してもよい。また、土壌の苦土養分を高めるため苦土入りの資材を使用する。各りん酸質肥料の成分含有率とようりんからの換算値を表142に示す。

表142 りん酸質肥料のりん酸成分と換算値

資材の種類	ようりん	苦土重焼燐	苦土重過石	ダブリン特17号
P ₂ O ₅ 含有率(%)	20	35	40	35
[内水溶性P ₂ O ₅ (%)]	0	16	25	17
ようりんからの換算値	×1	×0.58	×0.50	×0.58

ウ 苦土質肥料の施用

(ア) 苦土質肥料の施用量

マグネシウムは牧草の生育のみならず、家畜の健康を維持する上で重要な成分の一つである。特に、本県ではマグネシウム不足に由来する家畜の疾病が発生していることから、草地造成時から十分に苦土質肥料を施用し牧草のマグネシウム含量を高めることが大切である。

(イ) 苦土質肥料の種類

苦土質肥料には、硫酸苦土、水酸化苦土肥料等があるが、草地造成時に施用する苦土はこれら単肥を使用するまでもなく、石灰質及びりん酸質肥料に含有されている苦土成分で十分賄うことができる。石灰質及びりん酸質肥料には、種類によって含有する苦土成分が異なるので、石灰やりん酸成分の必要量を考慮し、使用する資材を決定する。

(ウ) 施用上の留意点

上記施用量を施用した場合には、草地造成後5～6年は通常の施肥管理の中で苦土を施用する必要がない。苦土の形態は、効果を持続させるためにク溶性が適当である。

エ 堆肥の施用

堆肥の施用は地力増強を図る上で重要であるが、過剰に施用すると牧草の硝酸態窒素含量やカリウム含量が高くなり、飼料価値が低下するので注意しなければならない。基準量は牛ふん堆肥の場合で4～5 t/10a、牛ふん尿混合物の場合で3～4 t/10aとし、耕起前に全面施用しすき込む。

(2) サイレージ用トウモロコシ

前述したように本県のトウモロコシ畑の土壤養分含量は、全般に石灰及び苦土が少なく、カリが多い。したがって、飼料として安全な品質を保持し得るサイレージ用トウモロコシを生産するためには、この点に留意した土づくりが必要である。

ア 石灰質肥料の施用

トウモロコシ畑連作ほ場の土壤養分は、相対的にカリが多く、石灰、苦土が少ないカリ過剰土壤が多くなっている。カリ過剰土壤では、トウモロコシのミネラル組成が悪化するだけでなく、収量の低下も懸念されるので、定期的に石灰質肥料を施用し、土壤の石灰、苦土、カリのバランス（塩基バランス）を適正に保つことが重要になる。

また、連作に伴い経年的に土壤の酸性化が進むので、酸性化防止の点でも石灰質肥料の施用が必要となる。

なお、使用する石灰質肥料は土壤の塩基バランスを考慮すると、苦土入り肥料（てんろ石灰、苦土炭カル）の使用が適当である。

具体的な石灰質肥料の施用量は、作付初年目（牧草からトウモロコシに切り換える場合を含む。以下同様。）においてはpH（H₂O）6.0～6.5の酸性矯正量とする。定期的に土壤診断を行い、塩基状態に応じて石灰質肥料の施用量を設定する。

イ リン酸質資材の施用

牛ふん堆肥を4 t/10a以上施用すれば、新規作付ほ場であっても、ようりん等のりん酸質土壤改良資材は施用する必要はない。

3 施肥基準

(1) 牧草

ア 牧草の施肥反応

(ア) 草種別施肥反応

牧草はイネ科牧草とマメ科牧草に大別され、それぞれ肥料成分に対する反応を異にする。

a イネ科牧草

窒素とりん酸の肥効が極めて高く、カリの肥効が最も低い。

b マメ科牧草

りん酸の肥効が最も高く、窒素の肥効が低い。マメ科牧草で窒素の肥効が低いのは、根粒菌により空気中の窒素を固定し、これが吸収・利用されるためである。また、マメ科牧草は酸性土壌を嫌うため、石灰の要求度はイネ科牧草より高い。

(イ) 生育時期別施肥反応

牧草は季節によって生育量が異なり、肥料に対する反応も異なる。乾物生産量は春（5、6月）に多く、夏以降は低下する。したがって、施肥に当たっては生育量の多い春に多用し、生育量が低下する夏以降には少なめに施用することが肥料効率を高める上で大切である。

a 窒素に対する施肥反応

早春から6月下旬までは窒素による乾物生産効率が高く、増施することによって直線的に増収に結び付く。しかし、1回当たりの追肥量は10kg/10aが増収の上限である。7月以降は肥効が低下し、1回当たり6kg/10aが増収の上限になる。これらの上限量を上回る場合は乾物生産効率が低下し、家畜栄養からみて許容量以上の硝酸態窒素が蓄積することが多い。9月下旬以降の追肥は年内利用の牧草生産量には効果がない。

b りん酸に対する施肥反応

牧草は低温時にはリンの吸収力が弱いため、早春ではりん酸施用による生育促進効果が高い。夏季高温時には土壌が還元的（酸素が少なくなる）になり、このような条件下では土壌に固定されていたリンが牧草に吸収されやすい形態に変化する。また、気温の上昇に伴い牧草のリン吸収力が強くなる。これらの理由により夏季には施肥りん酸の肥効はやや低下する。

c カリに対する施肥反応

カリの肥効は早春に高い傾向が見られるが、窒素やりん酸に比べ時期別変動が少なく、本県の草地土壌ではいずれの時期も低く経過する。

d 石灰と苦土に対する施肥反応

低温時におけるカルシウムとマグネシウム吸収力もリンと同様に弱いため、早春の肥効が高い。

イ 草地の経年化に伴う肥効の変化

草地は畑地と異なり、一度造成されると数年ないし10数年、耕起されることなく利用される。その間、造成時以外の施肥は全て表面散布される。したがって、表層土壌の肥沃度の変化が、牧草生産に大きく関与する。草地の経年化に伴い、採草地では大型機械による転圧、放牧地では放牧牛の蹄圧により、表層土壌がち密化する。また、牧草の枯葉や古い根が表層に集積する。このような草地管理の特殊性に基づく変化があるため、草地の施肥管理方法は畑土壌の場合と異なったものが要求される。

(ア) 窒素の肥効の変化

草地の経年化に伴い、土壌が硬くなるとともに表層に有機物が集積する。この有機物を分解する微生物の活動が盛んになり、酸素を消費するため表層土壌は幾分還元的になる。このような条件下では有効態窒素が不足するので、一般に草地が古くなると窒素の施用量を増す必要がある。

(イ) リン酸の肥効の変化

土壌に施用されたりん酸の大部分は土壌中のアルミニウムや鉄と結び付いて、牧草が吸収されにくい形態に変化する。しかし、前述したように草地の経年化に伴い土壌が還元的になると、りん酸はアルミニウムや鉄との結び付きが弱くなり、牧草が吸収しやすい形態に変化する。また、必要十分量のりん酸を施用した場合は、経年的に土壌の有効態りん酸は富化する傾向にある。一方、牧草の側から見ると、経年化に伴い牧草がリンを吸収する能力が高くなる。このような理由により古い草地ではりん酸の追肥効果は幾分低下する。

(ウ) カリの肥効の変化

本県の草地土壌はカリの天然供給能が高いため、牧草の生産にとってカリが不足する心配は三要素の中で最も少ない。むしろ、家畜栄養からみて牧草中のカリウム含量が過剰である場合が多い。

土壌中のカリ含量の変化は草地の利用形態によって異なる。採草地では牧草のカリウム吸収量が多いため、経年的に土壌中のカリは減少する傾向にある。しかし、極端な無カリ栽培を続けない限り不足する心配はない。一方、放牧地ではふん尿によってカリが土壌に還元されるので、カリが増加する傾向にある。このため、放牧草地に採草地と同じ考え方でカリを施用するとカリ過剰になることが多いので注意を要する。

(エ) 石灰、苦土の肥効の変化

草地の経年化に伴い、石灰や苦土が収奪、溶脱により土壌の酸性化が進行する。草地では石灰や苦土の溶脱を促進する窒素やカリを長年にわたって表面散布するので、土壌表層の酸性化が著しい。牧草根の中でも養分を旺盛に吸収する活性根は土壌の表層に集中している。したがって、表層土壌の酸性化は、特に牧草に悪い影響を及ぼす。石灰や苦土は酸性改良の面だけでなく、牧草栄養、家畜栄養の両面から必要な養分である。このため、定期的に補給するよう心懸けなければならない。

ウ ミネラル組成改善のバランス施肥法

家畜が成長、繁殖、産乳などのために摂取する各栄養素のうち、ミネラルは土壌

から植物（飼料）を経て与えられるものであるから、土壌のミネラル組成は牧草のミネラル組成だけでなく家畜の健康や能力にも大きく影響する。例えば、牧草中にリンやカルシウムが不足すると乳牛の成長が遅れ、受胎率や産乳能力が低下する。また、カリ多施用草地で生産された牧草を給与した家畜は、マグネシウムやカルシウムの吸収が抑えられ、低マグネシウム血症（グラステタニー）や低カルシウム血症（乳熱等）が発症する危険性が増す。

本県で生産される牧草は、家畜の栄養面からみてカリウムや硝酸態窒素が過剰になりがちなのに対して、リン、カルシウム、マグネシウムは不足しがちである。このような牧草の組成は施肥技術によってある程度まで改善することができるが、品質が改善されても収量が低下するようでは困る。以下に、収量を確保しつつ牧草の組成を改善するための施肥法について述べる。

（ア） バランス施肥法

a 窒素とカリの施用比

窒素とカリの施用比は放牧地では4：1、採草地では3：2とする。

b リン酸と苦土の施用比

リン酸と苦土の施用比は1：1又は2：1とする。この場合、苦土の追肥量は年間10kg/10a以上とする。

（イ） 施肥の基本

肥料要素を徐々に増施していくと、始めは収量が増加するが、さらに増施を続けると増収はしないが要素含有率が上昇するという二つの効果、すなわち、増収効果と要素蓄積効果とが認められる。

したがって、過剰になることが多いカリウムや硝酸態窒素含有率は増収効果が認められる範囲内にとどめておくべきであり、不足しがちなリン、カルシウム、マグネシウムなどは要素蓄積効果が認められるまで増施することが望ましい。これが施肥の基本である。

a 窒素の施肥

牧草は時期によって生育量が異なるため、それに応じて施肥量を変える必要がある。イネ科主体の草地では早春から6月下旬までの追肥量は1回当たり10kg/10aが上限であり、7月～9月中旬の追肥量は6kg/10aが上限である。これらの上限量を上回る場合は増収効果は低下し、家畜に有害な硝酸態窒素が蓄積するようになり飼料価値が低下する。

b リン酸の施肥

乳量20～30kgの乳牛が必要とする飼料中のリン含量は乾物中0.35%、乳量30kg以上の場合は0.39%とされている。オーチャードグラスの場合、乾物中リンとして0.26～0.35%の範囲であれば正常に生育する。収量を確保するためには上記の範囲に入るようリン酸施肥量が良いが、家畜の栄養面からは増収効果はないものの、0.35%以上になるように施肥することが望ましいわけである。収量を確保するための標準施肥量は草地造成時にリン酸として20～30kg/10a、年間追肥量は10～15kg/10a、家畜の栄養面からの量はそれぞれ40～50kg/10a、15～20kg/10aである。

c カリの施肥

通常、牧草は家畜要求量の4～5倍ものカリウムを含んでおり、家畜のミネラル代謝障害の一誘因となっている。例えば、主要なイネ科牧草であるオーチャードグラスの場合、正常に生育するには乾物中カリウムが1.6～2.7%の範囲の含有率であればよいのに対し、実際は3.0～3.5%も含んでいるものが多い。2.7%を超えるようにカリを増施しても増収効果は無く（ぜいたく吸収の状態）、家畜栄養面ではむしろマイナスになる。また、1.6%以下ではカリ不足で減収する。収量を確保しながらカリウムのぜいたく吸収を避けるためには、カリを窒素とのバランスを考えて施用すると良い結果が得られる。具体的には、窒素：カリの施用比を4：1から3：2の範囲で施用することである。これまでカリの施用量は牧草に吸収されるカリウムの量に基づいて設定されてきたが、この方法では牧草によってぜいたく吸収されるカリウムの量が加算されるため、過剰のカリが施用される欠点がある。窒素とのバランスに基づいてカリを施用する方法は、このような欠点をカバーすることができる。

d バランス施肥法の重要性

石灰や苦土を施用すると、牧草中のカルシウム、マグネシウム含有率は高くなりミネラル組成が改善される。したがって、草地造成時だけでなく維持段階においても追肥として供給することが必要とされる。しかし、カリを窒素より高い割合で施用すると、多くの場合、石灰や苦土施用による牧草のミネラル組成に及ぼす効果は、全く無くなってしまいうので注意しなければならない。

このように牧草の養分吸収の場面では、土壌中の窒素、りん酸、カリ、石灰、苦土は相互に関係し合っているため、これらの要素はバランス良く施用することが極めて重要である。

エ 採草地の施肥

(ア) 窒素の施肥量（イネ科単播及び混播草地の場合）

a 利用初年目夏季高温時の施肥量

利用初年目の若い草は夏の刈取り後に夏枯れを生じやすいので、7月下旬～8月上旬に追肥する場合、1回当たり追肥量（成分量。以下同じ）は3kg/10aを上限とする。

b 利用2年目以降の施肥量

目標収量に見合った量とするが、時期別の上限施用量は次のとおりとする。

① 消雪～6月下旬までの追肥量：1回当たり10kg/10aが上限

② 7月上旬～9月中旬までの追肥量：1回当たり6kg/10aが上限

これらの上限量を上回る場合は増収効率が低下し、家畜栄養から見て許容量以上の硝酸態窒素が蓄積することが多く、また、草生の悪化を招く。9月下旬以降の追肥は年内利用の牧草には効果がない。

(イ) りん酸の施肥量（イネ科、マメ科各単播草地及び混播草地の場合）

a 収量確保のための施肥量

① 草地造成時及び更新時：20～30kg/10a（りん酸質改良資材と基肥の合計量）

② 年間追肥量：10～15kg/10a

b 草質向上のための施肥量

- ① 草地造成時及び更新時：40～50kg/10a(りん酸質改良資材と基肥の合計量)
- ② 年間追肥量：15～20kg/10a

(ウ) カリの施肥量 (イネ科単播及び混播草地の場合)

- ① 窒素：カリの施用比を3：2として施用する。
- ② 家畜ふん尿を施用した場合はカリの施肥量を少なくする。

(エ) 石灰の施肥量 (各草地共通)

- ① 草地造成時及び更新時：pH (H₂O) 6.5を目標として施用。
- ② 追肥量：草地造成時に基準量が施用されている場合は造成後3～4年を経過した草地に苦土入り石灰質肥料を用いて、3年目ごとに100～200kg/10aを施用する。施用の時期は晩秋又は早春とする。

(オ) 苦土の施肥量 (各草地共通)

- ① 年間追肥量：10kg/10a (苦土として)、この場合、りん酸：苦土の施用比を1：1又は2：1で施用すると、効果的に牧草の苦土含量を高めることができる。
- ② 通常の施用で苦土入りの肥料を使用すれば、特に苦土肥料を用いなくてもよい。

オ 採草地の施肥基準

(ア) イネ科単播及び混播草地の施肥基準

施肥設計の立て方は、まず、目標年間収量を設定し、それに応じた年間成分施用量と刈取回数により番草毎の施肥配分を施肥基準により決定する。

a 目標収量別施肥基準

表143 オーチャードグラスの施肥基準

目標収量 (t/10a)	年間成分施用量 (kg/10a)				刈取 回数	施肥配分 (早春：各番草刈取り後)
	窒素	りん酸	カリ	苦土		
5	15	10	10	10	3	5：3：2
6	20	15	15	10	3	5：3：2
7	25	17	17	10	4	4：3：2：1

表144 チモシーの施肥基準

目標収量 (t/10a)	年間成分施用量 (kg/10a)				刈取 回数	施肥配分 (早春：各番草刈取り後)
	窒素	りん酸	カリ	苦土		
4～5	10	6.7	6.7	10	2	4：1
					3	5：3：2
6	16	10.7	10.7	10	3	5：3：2

利用初年目は、草生密度維持のため少肥条件とし目標収量を5t以内とする。ただし、夏季高温時は夏枯れを生じやすいため1回の施肥量は窒素3kg/10aを上限とする。

利用2年目以降は目標収量に応じた施肥量を設定する。

b 適正刈取回数

目標収量6t/10aの場合は最低3回、7t/10aの場合には最低4回刈り取るよ

うにする。利用回数が少ないと草丈が伸びすぎ、倒伏して株が蒸れて枯死するため、裸地が増え草地が早く荒廃する。

(イ) マメ科単播草地の施肥基準

表145 マメ科単播草地の施肥基準

施用区分	堆肥 (t/10a)	年間成分施用量 (kg/10a)			備 考
		窒素	りん酸	カリ	
基肥	4~5	3	5	5	最終刈後の 追肥は不要
追 早春	0	3	5	4	
肥 刈取ごと	0	0	5	4	

上記基準は目標収量を6~7t/10aとし、刈取回数は年間5~6回とした場合である。一般にマメ科牧草は根粒菌の働きにより空中窒素を固定し利用できるため、施肥窒素による増収効果が低い。しかし、早春の低温時では根粒菌の空中窒素固定能力が弱いため窒素を施用することが必要である。

カ 放牧草地の施肥

放牧草地の施肥は単に草量の確保だけでなく、牧草密度の維持や季節生産性の平準化、放牧期間の延長、牧草の栄養価などに深い関わりを持っており、草地管理の基本ともいえるべき事項である。

施肥設計は、目標年間収量に応じた年間成分施用量とし、施肥配分は、放牧地の利用形態及び可能な追肥回数、標高により決定する。

(ア) 放牧地の施肥基準

放牧草地では牧草の利用率、草生密度維持及び永続利用等の面から多肥を避けることが必要であり、10a当たり4~6tを目標収量とした施肥量とする。目標収量別の施肥量を以下に示す。

表146 放牧草地の施肥基準

目標収量 (t/10a)	年間成分施用量 (kg/10a)			
	窒素	りん酸	カリ	苦土
4	10	10	2.5	10
5	15	10	4	10
6	20	15	5	10

(イ) 三要素及び石灰、苦土の施肥法

牧草の収量確保と栄養価の向上を図るには、各肥料成分をバランス良く施肥する必要がある。このためには、施肥基準に示したように窒素：カリ施用比4：1、りん酸：苦土施用比1~2：1にする。

放牧草地では、ふん尿の還元により経年的にカリが蓄積される傾向にある。このため、カリの多施用は牧草中のカリウム含量を高め、カルシウムやマグネシウム含量を低めることでミネラルバランスを悪化させるので避けなければならない。カリは窒素施肥量より少なくすることが、ミネラルバランスを適正に維持するためのポイントである。

窒素、りん酸、石灰、苦土の具体的施肥法は前述に従う。

(ウ) 追肥回数と施肥配分・追肥時期

草地への追肥は、利用の度毎に行うのが原則である。しかし、実際は年2~3

回の追肥が限度で、年1回追肥を行っている草地も少なくない。年2～3回追肥をする場合は、牧場や牧区の立地条件及び利用目的によって施肥配分・追肥時期を変えて施肥の効率化を図る。利用目的別の基準となる追肥回数と施肥配分・追肥時期を以下に示す。

表147 放牧草地の追肥回数と追肥時期・施肥配分

放牧地 利用形態	追肥 回数	山地（標高400m以上）		平場（標高400m以下）	
		追肥時期	施肥配分	追肥時期	施肥配分
早春早期 利用牧区	2	早春	60%	早春	60%
		7月上旬～中旬	40%	7月中旬	40%
	3	早春	40%	早春	50%
		7月上旬～中旬	40%	6月中旬	30%
スプリング フラッシュ 抑制牧区	2	8月上旬～中旬	20%	8月上旬	20%
		6月上旬～中旬	60%	6月上旬～中旬	60%
	3	8月上旬～中旬	40%	8月上旬～中旬	40%
		早春	20%	早春	20%
		7月上旬～中旬	50%	6月中旬	50%
		8月上旬～中旬	30%	8月上旬	30%
晩秋 利用 牧区	—	（山地、平場共通）8月上旬までは他牧区と同じ管理を行い、8月中～下旬に追肥後1～2ヶ月休牧し、その後放牧する。追肥量は窒素で5～6 kg/10aを基準とする。			

注) 早春とは、消雪後または牧草の萌芽後速やかな時期をいう。

(2) サイレージ用トウモロコシ

サイレージ用トウモロコシは、牛ふん堆肥と化学肥料を組み合わせた施肥管理が行われるが、連作により土壌養分が蓄積するため、堆肥からの肥料成分施用量及び土壌成分に応じて化学肥料の施用量を加減することが必要である。

ア 堆肥の適正施用量

堆肥増施による増収は、堆肥無施用～4 t/10aの施用では増施に伴って増収するが、堆肥4 t/10a以上では増収程度が緩やかになり、ほぼ8 t/10aの施用で最高収量に達する。したがって、収量面からみた堆肥の適正施用量は、4～8 t/10aである。8 t/10aを超える堆肥の施用はトウモロコシのミネラル組成の悪化と硝酸態窒素蓄積につながるのを避ける。

イ 窒素の施用

窒素は肥料成分の中で最も増収効果の大きい成分である。しかし、窒素増施による増収には限界があり、過剰施用は増収しないだけでなくトウモロコシの硝酸態窒素濃度を高め飼料価値を低下させる。また、春の低温時には土壌のアンモニア濃度を増加させ生育遅延や発芽障害を起こす原因となるので過剰施用は避ける。

窒素の適正な施用量は、作付前土壌の可給態窒素及び無機態窒素含量を指標とするが、窒素含量が低い作付初年目であっても、収量面から見て15kg/10aの施用で充分である。また、窒素の追肥は増収に結び付かないので不要である。

堆肥の連用により土壤中の窒素含量が増加するため、窒素の減肥が可能となる。可給態窒素と無機態窒素の合計が10～13mg/100gでは10kg/10a、13mg/100g以上では5 kg/10aの施用とする。

ウ リン酸の施用

リン酸は初期生育を促進させる効果がある。この効果をより高めるためには使用するリン酸肥料は速効性（水溶性）の形態を多く含む肥料が適する。リン酸は窒素やカリと異なり多量に施用した場合でもトウモロコシの生育及び品質面に対する影響が小さいが、肥料費の節減を考慮してリン酸の施用量を設定するのが適当である。

連作条件では堆肥の連用により土壤の有効態リン酸含量は5 mg/100g以上有することが多く、リン酸の施用量を節減できる。有効態リン酸が5 mg/100g以上で堆肥を4 t/10a施用する場合のリン酸施用量は5 kg/10a、堆肥8 t/10a施用ではリン酸は無施用とできる。有効態リン酸が5 mg/100g未満であれば、堆肥の施用量に関わらず10kg/10aの施用とする。

エ カリの施用

県内のトウモロコシ連作畑土壤ではカリ過剰の状態が多い。このようなカリの過剰な土壤においては、減収及びミネラル組成の悪化を防止するために堆肥の施用量を減らしたり、カリ無施用とするなどの配慮が必要である。

カリ施肥による増収効果は、土壤の交換性カリ含量が12mg/100g以下になった場合に顕著であることから、カリ施肥は土壤のカリ含量が12mg/100g以下になった場合に行う。

堆肥を4 t/10a以上施用し、カリ施肥を行わない連作では交換性カリ含量が12mg/100g以上を維持しており減収が見られない。このため、堆肥4 t/10a以上を施用する連作では、土壤の塩基バランスの適正化を図る上でもカリ施肥を控えた方が良い。しかし、作付け初年目や堆肥の施用量が少ない場合では土壤のカリ含量が少ないことが考えられるので、この場合は10kg/10aのカリを施用する。

オ 苦土の施用

県内のトウモロコシ畑土壤の苦土／石灰比は3.0未満のものが84%を占め、苦土欠乏土壤や苦土が欠乏しやすい土壤が多い。苦土欠乏土壤ではトウモロコシのマグネシウム吸収が抑えられ減収するだけでなく、ミネラル組成も悪化するので定期的に土壤診断を行い苦土施用の必要性を判定することが必要である。

苦土は、収量及びミネラル品質面を考慮すると5 kg/10aの施用でよいが、苦土入り石灰質肥料を連作の中で定期的に施用している場合は、通常苦土施肥は不要である。

カ トウモロコシの施肥基準

トウモロコシの施肥は堆肥が中心であり、連作畑では堆肥の連用により土壤養分が富化する傾向にある。したがって、併用する化学肥料の施肥量は、堆肥からの養分供給量や畑の土壤養分状態に応じて設定することが基本となる。このようなことを考慮して、施肥と収量及び品質との関係を整理し施肥基準として表148-1、表148-2及び表148-3に示した。本基準を採用するに当たっては、ほ場の前歴や堆肥の施用量を正確に把握することが必要となる。

表148-1 飼料用トウモロコシの窒素施肥基準

土壤窒素 (乾土100g中)	分析値がない 場合の目安	窒素施肥量 (10a当たり)
10mg未満	作付け1～2年目	15kg
10～13mg	作付け2～3年目	10kg
13mg以上	作付け4年目以降	5kg

注) 土壤窒素 = 可給態窒素 + 無機態窒素

表148-2 飼料用トウモロコシのりん酸施肥基準

有効態りん酸 (乾土100g中)	堆肥施用量 (10a当たり)	りん酸施肥量 (10a当たり)
5mg未満	4 t	10kg
	8 t	10kg
5mg以上	4 t	5kg
	8 t	0kg

表148-3 飼料用トウモロコシのカリ施肥基準

交換性カリ (乾土100g中)	カリ施用量 (10a当たり)
12mg未満	10kg
12mg以上	0kg

4 減肥基準

(1) 牛尿を採草地に施用する場合の減肥

ア 牛尿の化学肥料代替率

牛尿の肥料成分は表149に示すようにばらつきが大きい。したがって、牛尿を施用するに当たっては肥料成分を測定し、表150に示した肥効率を乗じて得られる化学肥料代替分量を把握する必要がある。

表149 牛尿の成分組成 (現物中%)

区分	窒素	りん酸	カリ	石灰	苦土
最大値	0.791	0.029	0.672	0.029	0.048
最小値	0.006	0.000	0.014	0.001	0.001
平均値	0.235	0.006	0.310	0.010	0.015

表150 牛尿の肥効率 (%)

	窒素	カリ
肥効率	70	95

注1) 化学肥料の肥効を100%としたときの肥効率

2) りん酸は含有率が低いため、肥効は無視して良い。

なお、正確な肥料成分の把握には化学分析が必要であるが、ECを測定することにより簡易に推定できる。表151に肥料成分含有率推定値、表152に化学肥料代替量推定値を示した。

表151 ECによる牛尿現物中の肥料成分含有率推定値

肥料成分	EC (mS/cm、25℃補正值)										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
窒素 (%)	0.03	0.04	0.06	0.09	0.14	0.19	0.25	0.32	0.40	0.50	0.60
カリ (%)	0.05	0.12	0.18	0.25	0.31	0.38	0.44	0.51	0.57	0.64	0.70

表152 ECによる牛尿現物1 t (1 m³) 中の化学肥料代替量推定値

肥料成分	EC (mS/cm、25℃補正值)										
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
窒素 (kg)	0.19	0.27	0.43	0.65	0.95	1.31	1.74	2.25	2.82	3.47	4.18
カリ (kg)	0.49	1.11	1.73	2.34	2.96	3.58	4.20	4.81	5.43	6.05	6.67

イ 化学肥料との併用（化学肥料の減肥）

牛尿の化学肥料代替成分はカリ含量が高く、窒素含量の1.5～4倍となっている。したがって、牛尿の施用量は、牧草の施肥基準に示されたカリ施用量を満たす量に止めることが重要である。

この場合、カリ施肥量は牛尿によって満たされるが、窒素やりん酸施肥量は不足するので化学肥料で補うようにする。

牛尿の牧草に対する具体的な施用例を示すと以下のとおりである。

例) 採草地に対する牛尿の早春追肥

早春追肥量を窒素、カリそれぞれ10、7.5kg/10aとし、ECが15mS/cmの牛尿を使用、施用する窒素肥料を尿素（N:46%）とする場合、

- ① 牛尿1 tに含まれるカリ代替量の推定：表152より 2.34kg/t
- ② 早春のカリ施用に必要な牛尿量の算出：
$$\frac{7.5\text{kg}/10\text{a}}{2.34\text{kg}/\text{t}} = 3.2\text{t}/10\text{a}$$
- ③ 牛尿1 tに含まれる窒素代替量の推定：表152より 0.65kg/t
- ④ 牛尿3.2tに含まれる窒素代替量の算出： $3.2\text{t} \times 0.65\text{kg}/\text{t} = 2.1\text{kg}$
- ⑤ 尿素施用量の算出：
$$\frac{10\text{kg}/10\text{a} - 2.1\text{kg}/10\text{a}}{46\%} = 17.2\text{kg}/10\text{a}$$

以上より、カリは無施用、窒素は尿素17.2kg/10aとし、りん酸は、牛尿による肥効を無視するため減肥せず施肥基準どおりとする。

（2）牛ふん堆肥を施用する場合の減肥

ア 草地造成時の堆肥施用

草地造成時には、牛ふん堆肥と化学肥料を併用して施肥する方法が慣行的であるが、必要な肥料成分を堆肥のみで施用し化学肥料を無施用としても、翌年以降は化学肥料施用と同等の牧草収量が確保できる。また、牧草中ミネラル含有率に大きな差はなく、ミネラルバランスも悪化しない。この際の施用資材は図50のとおりとする。

資材名	堆肥	りん酸質資材	石灰質資材	基肥
慣行的な施肥方法	4 t /10a	+ ようりんをP ₂ O ₅ として20kg/10a	+ pH 6 ~6.5 矯正量	+ 化学肥料で窒素、 りん酸、カリを 各5kg/10a
堆肥のみの施肥方法	4 t /10a + 窒素 5 kg/10a 相当量*	+ 同上	+ 同上	+ なし

※：堆肥中窒素成分の肥効率を30%として算出するため、実際の窒素施用量は17kg/10aである。

図50 草地造成時の資材量

イ イネ科主体採草地利用年における堆肥施用

利用年における堆肥施用は、前年最終刈後に翌年1年分のカリ成分量を施用し、利用当年は不足する成分のみを化学肥料で施用する。

利用当年の堆肥の施用は、分解せずに残存した堆肥が収穫草に混入し、飼料品質や家畜の嗜好性を低下させるので避ける。

具体的な施用例を示すと以下のとおりである。

例) 採草地に対する堆肥の追肥

カリの年間追肥量を10kg/10a、窒素の早春追肥量を7.5kg/10aとする。使用する牛ふん堆肥の現物中成分含有率を窒素、カリそれぞれ0.9、1.4%、肥効率を窒素、カリそれぞれ10、65%とする。施用する窒素肥料を尿素（N：46%）とする場合、

- ① 翌年1年分のカリ施用量に相当する堆肥量の算出：

$$\frac{10\text{kg}/10\text{a}}{1.4\% \times 65\%} = \underline{\underline{1,099\text{kg}/10\text{a}}}$$

- ② 堆肥1,099kg/10aに含まれる窒素肥効量の算出：

$$1,099\text{kg}/10\text{a} \times 0.9\% \times 10\% = 1.0\text{kg}/10\text{a}$$

- ③ 化学肥料による早春窒素施用量の算出：7.5kg/10a - 1.0kg/10a = 6.5kg/10a

- ④ 尿素施用量の算出： $\frac{6.5\text{kg}/10\text{a}}{46\%} = \underline{\underline{14.1\text{kg}/10\text{a}}}$

以上より、前年最終刈後に堆肥を1,099kg/10a施用し、翌年は年間を通じてカリを施用しない。窒素の早春追肥は尿素14.1kg/10aとし、以降の追肥は施肥基準どおりとする。りん酸は、家畜栄養面からぜひたく吸収させることが望ましいため減肥せず、年間を通じて施肥基準どおりとする。

