

チベット高原北部におけるヤク (*Bos grunniens*) の放牧季節の違いが 金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占草地の植物の種多様性と現存量に及ぼす影響

李 国梅¹・長谷川信美^{2*}・宋 仁徳²・井戸田幸子²・王 有良³・馮 生青⁴

¹ 鹿児島大学大学院連合農学研究科、鹿児島市 890-0065

² 宮崎大学農学部、宮崎市 889-2192

³ 門源回族自治州草地ステーション、中国青海省海北州門源回族自治州 810300

⁴ 門源回族自治州畜牧獣医ステーション、中国青海省海北州門源回族自治州 810300

*Corresponding author. E-mail address: nhasegaw@cc.miyazaki-u.ac.jp

要 約

チベット高原北部の金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占草地において、ヤク (*Bos grunniens*) の暖寒2季の放牧季節の違いが野草地の植物の種多様性と現存量に及ぼす影響について検討した。暖季放牧地 (WSP) では37種 (イネ科:6, カヤツリグサ科:5, 広葉草本:23, 灌木:3), 寒季放牧地 (CSP) では44種 (イネ科:7, カヤツリグサ科:6, 広葉草本:27, 灌木:4) が出現した。WSPはCSPと比較し、植物種数, 豊富指数, 種多様度指数およびPielou均等度指数が低く, 植被率および群落高が有意に低かった ($P<0.01$)。出現種数は, WSP (7–16種/m²) が, CSP (17–22種/m²) よりも有意に少なかった ($P<0.001$)。また, 栄養価の高い野草であるイネ科植物の地上部現存量は, CSPよりも低かった ($P<0.01$)。WSPでは *Kobresia humilis*, *Leontopodium nanum*, *Potentilla anserina* などの草高が低く, 放牧耐性の高い植物が *P. fruticosa* の次に優占する種になっているのに対し, CSPでは *Poa pratensis*, *Elymus nutans*, *Kobresia capillifolia* など草高の高い植物が *P. fruticosa* の次に優占する種になっていた。これらのことから, ヤクの長期にわたる放牧季節の違いがWSPの草地植生に強い影響を与え, 種多様性が低下し, 優良な野草の地上部現存量が減少し, 著しく荒廃したと考えられた。

キーワード: ヤク, 放牧季節, 種多様性, 現存量, チベット高原

Animal Behaviour and Management, 43 (1): 1-8, 2007

(2006. 10. 5 受付; 2006. 11. 30 受理)

緒 言

家畜の放牧は, 最も経済的な自然草地の利用管理方式であり, 草地植物群落に対する非常に複雑な攪乱方式でもあり, 植物群落にプラスとマイナスの両面の影響を与える^{2, 3, 19, 24, 34, 42}。家畜の放牧方式, 放牧強度および放牧家畜種は, 草地の植生に大きな影響を及ぼすことが報告されている^{4, 7, 25, 38}。家畜の過放牧は, 野草放牧地における生物多様性の喪失をもたらす持続的な家畜生産を損なう主要な要因^{31, 41}であり, 植物群落構成への影響は放牧強度よりも放牧季節の方が大きい³⁵と報告もある。

野草放牧草地管理の目標の1つは, 持続的な利用は勿論, 優良な草種の割合を高めること, そして植物の種多様性を維持し保護することである²⁰。植物群落の種多様性やその生産力

については多くの研究者によって注目されてきた^{22, 26, 27, 37}。植物群落の種組成, 現存量や多様性は群落を特徴づける生態的な特性であり²², 種組成や多様性は群落の豊かさを示し, 現存量や安定性は生態系の量的側面と攪乱への回復力を表す³⁷ことが報告されている。

チベット高原では, 数千年にわたり広大な野草地でヤク・ヒツジ・ヤギなどの通年放牧がなされてきた。4季 (春, 夏, 秋および冬) もしくは3季 (春秋, 夏および冬) に放牧地を分け, 水と草を追って周年遊牧するのが自然草地の利用方式であった。しかし, 中国政府による遊牧民定住化政策により, 野草放牧地は夏 (暖季) と冬 (寒季) の2季に分けて輪換放牧に利用されることが多くなってきた。周年放牧を行っているチベット高原の多くの寒冷な高地の草地 (高寒草地) では, 過放牧による植生の荒

麩が生じている^{7, 17, 33, 41, 43}。

ヤク (*Bos gurunniens*, ウシ科) はチベット高原を中心に飼育されている家畜であり、中国青海省およびチベット自治区における標高2500–5400mの高原に広がる自然草原地帯には、およそ1400万頭が遊牧あるいは放牧により飼育されている。現在までに、ヤクの放牧における採食行動の季節および地域による違い⁹⁾、放牧強度が草地植生に及ぼす影響^{1, 5, 7, 8, 13, 15)}に関する研究がなされているが、放牧季節が草地植生に及ぼす影響に関する報告^{35, 39)}は少ない。特に、暖季と冬季の2季区分による長期利用が野草放牧地における草地植生へ与える影響についてはほとんど研究がなされていない。

そこで本研究では、チベット高原に広く分布する草地型の1つである金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占草地において、ヤクの暖寒2季輪換放牧が野草地の種多様性、植生群落構成および植物現存量に及ぼす影響について検討し、高寒草地生態系の保安全管理と資源利用を両立させることを効果的に行うための科学的な基礎資料を得ることを目的とした。

材料および方法

1. 調査地概況

調査地は中国青海省門源回族自治州皇城郷の野草放牧地である。チベット高原北部の祁連山脈北支脈南側の緩斜面に位置 (N37°35' E101°25') し、標高は3280–3340m、年間降水量は509.3mm、気温は–31.5–27.5°Cである。野草放牧地は *P. fruticosa* が優占種で、*Kobresia humilis*, *Poa pratensis*, *Elymus nutans*, *Kobresia capillifolia* などが次に優占する種である。本放牧地では20年間にわたり、暖季放牧地 (WSP) では面積31.9 haに約50頭のヤクを4月から10月まで約185日間、寒季放牧地 (CSP) では面積23.2 haに約45頭のヤクを10月から翌年の4月まで約180日間放牧する輪換放牧が行われてきた。

2. 調査方法

2005年8月8–10日に、コドラート法により暖季・寒季の両放牧区において1m×1mコドラート18点で出現種数、群落高、被度の調査を行った。植生調査は50cm×50cmコドラート10点で行い、調査後に植物体をすべて地際から刈取り、植物種ごとに分け、電子レンジを用いて恒量となるまで乾燥して個々の種の乾物重量を測定し、地上部現存量 (W: g DM) とした。また、ライントランセクトによる1m

間隔サンプリングを各区で1224回反復し、植物種の出現頻度 (F) と草高 (HT) を求めた。

3. データ解析

各草種の重要値および種多様性の算出を以下の式に従って行った。

3.1 重要値 (Importance Value)²⁸⁾ :

$$IV_i = (HT_i' + Fi' + Ci' + Wi') / 4$$

ここで、HT_i'、Fi'、Ci'、Wi' は群落構成種の草高 (HT)、出現頻度 (F)、被度 (C) および重量 (W) のそれぞれの合計を100%としたときの草種 *i* の相対値である。

3.2 種多様性¹⁸⁾ :

1) 豊富度指数: $S = n$

2) Shannon-Wiener 指数: $H' = -\sum_{i=1}^n P_i \times \ln(P_i)$

3) Simpson 指数: $D = \frac{1}{\sum_{i=1}^n P_i^2}$

4) Pielou 均等度指数: $E = H' / \ln(S)$

ここで、*n* は草地の植物種数、P_{*i*} は種 *i* の相対重要値である。

4. 統計処理

データは平均値 ± 標準偏差で示し、パドックを要因として、Wilcoxon test により検定を行った。

結果

1. 植物の種多様性

表1に、ヤクの暖寒2季輪換放牧が金露梅優占草地の種多様性に及ぼす影響を示した。CSPでは44種 (イネ科: 7, カヤツリグサ科: 6, 広葉草本: 27, 灌木: 4) が出現し、WSPでの37種 (イネ科: 6, カヤツリグサ科: 5, 広葉草本: 23, 灌木: 3) よりも多かった。また、WSPでは Shannon-Wiener 指数、Simpson 指数および Pielou 均等度指数のすべてでCSPよりも低い値を示した。

2. 群落特性

ヤクの暖寒2季輪換放牧が金露梅優占草地の群落特性に及ぼす影響を、表2に示した。WSPの植被率および群落高はともにCSPよりも有意に低かった (*p* < 0.01)。種数密度は、WSPが7–16種/m²で、CSP (17–22種/m²) よりも少なかった (*p* < 0.001)。

3. 地上部現存量

ヤクの暖寒2季輪換放牧が金露梅優占草地の地上部現存量に及ぼす影響を、表3に示した。

Table 1. Effect of rotational grazing of yak in warm and cold seasons on species diversity in *Potentilla fruticosa* rangeland.

| Paddock ¹ | Richness index (No. of spescs by plant category) | Shannon-Wiener diversity index | Simpson diversity index | Pielow evenness index |
|----------------------|---|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | 37 | | | |
| WSP | (Gramineae : Cyperaceae : forbs : shrubs = 6 : 5 : 23 : 3) | 2.72 | 0.88 | 0.75 |
| | 44 | | | |
| CSP | (Gramineae : Cyperaceae : forbs : shrubs = 7 : 6 : 27 : 4) | 3.08 | 0.92 | 0.81 |

¹ WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

Table 2. Effect of rotational grazing of yak in warm and cold seasons on vegetation characteristics in *Potentilla fruticosa* rangeland.

| Paddock ¹ | Vegetation coverage (%) | Height of community (cm) | Number of species (species/m ²) |
|----------------------|-------------------------|--------------------------|---|
| WSP | 61.6±12.4* | 11.9±6.9* | 12.0±2.7** |
| CSP | 91.2±6.7 | 22.6±4.3 | 19.4±2.0 |

¹ WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

* p<0.01 and ** p<0.001.

Table 3. Effect of rotational grazing of yak in warm and cold seasons on aboveground biomass (g DM/m²) in *Potentilla fruticosa* rangeland.

| Paddock ¹ | Gramineae | Cyperaceae | <i>P. fruticosa</i> | Others |
|----------------------|-----------|------------|---------------------|-----------|
| WSP | 4.1±1.4* | 13.7±13.4 | 126.2±74.4 | 33.0±36.0 |
| CSP | 37.0±20.3 | 11.5±8.0 | 153.1±85.6 | 49.4±12.1 |

¹ WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

* p < 0.01.

地上部現存量は、WSPでは177.0 g DM/ m²で、CSPでは251.0 g DM/ m²であった。構成割合は、WSPでは Gramineae 2.3% (4.1 g DM/ m²)、Cyperaceae 7.8% (13.7 g DM/ m²) および *P. fruticosa* 71.3% (126.2 g DM/ m²) に対し、CSPではそれぞれ14.7% (37.0 g DM/ m²)、4.6% (11.5 g DM/ m²) および61.0% (153.1 g DM/ m²) であった。イネ科植物の地上部現存量はWSPがCSPよりも有意に低かった (p<0.01)。

4. 植物種組成

ヤクの暖寒2季輪換放牧が金露梅優占草地の植物種組成に及ぼす影響を、表4に示した。

WSPとCSPにおいて、いずれも *P. fruticosa* が優占種であった。WSPでは *K. humilis* など自然草高が低く放牧に強い草種、*Potentilla anserina* のような匍匐性で踏圧に強い草種と *Leontopodium nanum* のようなヤクの嗜好性が低い草種が *P. fruticosa* の次に優占する種になっているのに対して、CSPでは *P. pratensis*, *Elymus nutans*, *K. capillifolia* など草高の高い草種が *P. fruticosa* の次に優占する種であり、*K. humilis*, *P. anserina*, *L. nanum* および *Lancea tibetica* などの短草型草種の出現頻度、被度および優占度がともに低かった。

Table 4. Effect of rotational grazing of yak in warm and cold seasons on botanical characteristics of major species in *Potentilla fruticosa* rangeland.

| Species | Botanical characteristics and paddock by grazing season ¹ | | | | | | | |
|---------------------------------|--|-------|-------------------|-------|--------------|-------|------------------|-------|
| | Frequency (%) | | Plant height (cm) | | Coverage (%) | | Importance index | |
| | WSP | CSP | WSP | CSP | WSP | CSP | WSP | CSP |
| <i>Potentilla fruticosa</i> | 16.73 | 9.31 | 15.94 | 30.57 | 8.46 | 10.63 | 27.52 | 20.13 |
| <i>Kobresia humilis</i> | 24.70 | 2.61 | 2.37 | 2.79 | 15.18 | 3.96 | 13.29 | 0.78 |
| <i>Poa pratensis</i> | 9.94 | 18.22 | 7.48 | 17.62 | 8.76 | 27.38 | 6.76 | 14.14 |
| <i>Leontopodium nanum</i> | 6.10 | 2.94 | 0.60 | 11.40 | 6.31 | 3.41 | 6.68 | 2.81 |
| <i>Potentilla anserina</i> | 6.59 | 2.53 | 0.63 | 2.08 | 7.11 | 1.66 | 4.70 | 1.51 |
| <i>Ptilagrostis dichotoma</i> | 0.30 | 0.98 | 55.16 | 44.86 | 0.10 | 3.41 | 3.72 | 2.26 |
| <i>Elymus nutans</i> | 2.56 | 11.27 | 9.49 | 18.38 | 3.33 | 7.30 | 3.63 | 7.37 |
| <i>Hippophae tibetana</i> | 1.08 | 0.16 | 6.44 | 10.75 | 0.83 | 0.10 | 3.59 | 0.52 |
| <i>Spiraea alpina</i> | 0.98 | 2.12 | 12.71 | 22.10 | 0.10 | 0.61 | 3.42 | 3.42 |
| <i>Koeleria cristata</i> | 0.39 | 3.19 | 10.85 | 20.33 | 0.10 | 3.96 | 2.81 | 2.85 |
| <i>Carex scabrirostris</i> | 6.99 | 7.68 | 2.22 | 7.91 | 1.43 | 6.45 | 2.68 | 4.29 |
| <i>Helictotrichon tibeticum</i> | 0.20 | 3.02 | 18.33 | 16.48 | 0.51 | 0.75 | 2.12 | 2.20 |
| <i>Lancea tibetica</i> | 4.63 | 1.23 | 0.29 | 1.89 | 1.97 | 0.02 | 1.82 | 0.44 |
| <i>Polygonum viviparum</i> | 2.85 | 0.08 | 0.26 | 24.00 | 1.54 | 0.10 | 1.31 | 3.67 |
| <i>Potentilla nivea</i> | 2.85 | 0.16 | 0.86 | 0.35 | 0.95 | 0.12 | 1.17 | 0.10 |
| <i>Thalictrum alpinum</i> | 2.56 | 0.33 | 1.27 | 2.13 | 0.99 | 0.10 | 1.15 | 0.18 |
| <i>Kobresia capillifolia</i> | 3.15 | 6.86 | 2.12 | 16.83 | 0.50 | 8.47 | 1.07 | 5.78 |

¹WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

考 察

攪乱は自然の植物群落にとって普遍的な生態的変動要因であり^{24, 37)}, 群落構造や現存量に影響を与える^{22, 37)}。チベット高原の高寒草地はヤク・ヒツジ・ヤギなどの放牧や薬草の採取、鼠虫害などにより様々な攪乱を受けている^{14, 17, 23)}。放牧は高寒草地で行われている主な土地利用方式であるが、家畜の採食と踏圧が支配的な攪乱要因である^{5, 7, 11, 12, 24, 33, 40)}。調査地を管理している農家への聞き取りによると、本調査地は入植当初にはWSPとCSPともに同様の草地植生であり、20年間にわたりWSPとCSPに分けてヤクの放牧を行ってきた。これらのことから、両放牧地の植生の違いには、攪乱要因としてのヤクの選択採食と踏み付けの度合いの放牧季節による違いが影響していると推測された。

草種構成の変化に関する研究は、複雑に相互作用する生物群集に関する研究ととらえることができる。草地の草種構成は環境と草種の複雑な相互作用のバランスの上に成り立っており、管理方式の違いによって大きく変化する^{21, 23)}。この草種構成の変化には、放牧強度^{5, 43)}、放牧季節^{35, 39)}および家畜の選択採食^{4, 29, 32)}が要因として重要である。また、放牧強度と放牧時期は植生生育型の組成にも影響を与え、放牧圧が強まると、ヤクに採食されにくい *K. humilis* などのカヤツリグサ科の短草型草種とバラ科の *P. anserina* のような匍匐性で踏圧に強い草種の優占度が上昇する^{16, 39)}。これは、植物群落に加えられた攪乱に対する群落構成種の反応の違いによるものである。すなわち、群落構成種のなかで、踏圧に強く、家畜の嗜好性が低いか被食に対する再生能力の高い種は、放牧条件下で群落内の優占度が高くなり、その

逆の種は低下する。WSP では *K. humilis* などの短草型草種と *P. anserina*, *L. nanum*, *L. tibetica* などの草種構成割合が高くなっており、*P. pratensis*, *E. nutans* および *K. capillifolia* などヤクの嗜好性の高い長草型種の構成割合は低かったが、CSP では逆の結果となっていた。WSP では *P. pratensis*, *K. capillifolia* などの長草型草種主体の草種構成から *K. humilis*, *P. anserina* など短草型草種主体の草種構成に変化したと考えられる。

植物群落の構成は草高と被度によっても反映される。被食の指標となる自然草高を複数の草種で見ると、WSP では *P. pratensis*, *E. nutans* と *K. capillifolia* などの長草型草種だけでなく、短草型草種でヤクの嗜好性が低い広葉草本である *P. anserina*, *L. nanum* および *L. tibetica* と優占種である木本植物 *P. fruticosa* の草高も低かった。また、被度でも *K. humilis*, *P. anserina* など短草型草種が高く、*P. pratensis*, *E. nutans*, *K. capillifolia* と *Carex scabrostris* などが低かったことから、強い被食圧を受けていることが明らかとなった。これらのことから、草地の放牧利用開始時の草種構成が同じであっても、その後の放牧管理、すなわち、ヤクの暖寒 2 季輪換放牧による被食圧の違いによって異なる植生へ移行したと推測された。今回示された暖季と寒季両放牧地間の植生の違いには、被食圧と放牧時期の違いが大きく影響したと考えられた。

放牧は草地群落における植物の種多様性の推移に影響を及ぼすが、放牧強度の違いによってその影響の程度は異なる²³⁾。適切な放牧では、草地のバイオマスが増加し^{23, 39)}、多くの植物種が共存でき³⁰⁾、植物の種多様性を高めるが、過放牧など不適切な管理利用は草地の植被率と植物の種多様性を低下させ^{10, 40)}、群落構成を変え、高寒草地进行を荒廃させる最も根本的な原因となっている^{7, 41, 43)}。WSP の植被率は CSP よりも有意に低く ($p < 0.05$)、草地の荒廃の激しさを表していると考えられる。種の多様性の尺度の一つである種数密度でも、WSP では 7–16 種/m² で、CSP の 17–22 種/m² よりも有意に低かった ($p < 0.001$)。これは、高い被食圧で攪乱が持続し植物の種多様度が低下したためと考えられる。

豊富指数、多様指数および均等度指数は WSP ($S=37$, $H=2.72$, $D=0.88$ および $E=0.75$) が CSP ($S=44$, $H=3.08$, $D=0.92$ および $E=0.81$) よりも低かった。これは植物の成長期に長期間にわたり強い強度で放牧が行われたため、ヤクを選択採食により²⁹⁾、イネ科など直立型の草高の高い種が頻りに採食されて被度と豊富

がともに低下し、種子繁殖を行う植物が減少したと考えられる。そして、頻繁な採食と踏圧は土壌の物理性（硬度、透水性および保水性）を悪化させ、植物の光合成器官である葉および栄養繁殖にも障害を与え、これらに対して耐性の低い広葉植物を絶滅に近いほど減少させたと考えられる。その結果、採食性の低く再生力および踏圧耐性の高い *K. humilis* などの栄養繁殖型の植物や *P. anserina* などの匍匐型植物の優占度が高くなり、植物の種多様性が低下したと考えられる。一方 CSP では、春（4 月中旬）から秋（10 月中旬）までの間はヤクの放牧が行われなかったために植物の有性繁殖が可能となり、自然下種による繁殖が可能となった後に放牧を行うために種子繁殖を行う植物への放牧の影響は弱く、植生変動への影響が小さかったと考えられる。また、限られた面積での放牧によりヤクに長い寒季を超えさせるため、採食草量が不足するにつれヤクを選択採食が弱くなり、枯死葉を含めて植物が地際まで徹底的に食べ尽くされて、特定の植物種の優占が抑えられ、新たな種に侵入と定着のチャンスが与えられ、優占度の低い種の生存を可能にし、CSP の種多様性が高くなったと考えられた。

草地を持続的に利用するための管理目標は、それを可能にする優良な野草の割合を高くすること、そして植物の種多様性を保護することである²⁰⁾。しかしながら、WSP では、ヤクによる頻繁な採食によって Gramineae, Cyperaceae などの優良な野草種が再生するための十分な回復期間がなく、特に早春には、植物現存量が少ないため被食圧が高く、植物は再成長のため大量の貯蔵養分を消費し、夏季の成長に大きな影響を及ぼしていると推測される。休牧を取り入れた草地の小区画輪換放牧^{6, 25)}により、家畜の放牧行動や放牧範囲をある程度制御し、早春の植物の初期成長期における強い強度の放牧を避け、植物に貯蔵養分の蓄積と再生の期間を保障することが、本草地の持続的利用と植物の種多様性の保護につながると考えられる。

以上のことから、チベット高原北部における金露梅優占草地 (*P. fruticosa* Shrublands) では、ヤクの放牧季節の違いが草地植生に強い影響を与え、暖季放牧地では草地群落の構成が単純化し、植物の種多様性が低下し、植物の地上部現存量が特に優良な野草で減少して荒廃が進んでおり、これに対し、寒季放牧地では植物の種多様性は高く保たれていることが明らかとなった。

今後、野草放牧地の植物の種多様性と生態系を適正に保ち、家畜の生産を継続的に維持し

さらに向上させるためには、小区画での輪換放牧や休牧を取り入れた放牧方式を検討することが必要と考えられた。

本研究の概要は、2nd China-Japan-Korea Grassland Conference において発表した。

謝 辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金（課題番号 15255020, 研究代表者：長谷川信美, および課題番号 16・04482, 研究代表者：長谷川信美, 共同研究者：宋 仁徳）による助成を受けて行ったものである。

本研究の遂行にあたり、ご協力いただいた中国青海省海北州門源回族自治区草地ステーションおよび畜牧獣医ステーションの研究者15名の方々と、調査地管理者の周 薩氏, 曲 永琴氏ご夫妻に深く感謝いたします。

引用文献

1. ANDERSEN, U. V. and B. CALOV, Long-term effects of sheep grazing on Giant Hogweed (*Heracleum mantegazzianum*). *Hydrobiologia*, 340:277-284. 1996.
2. BELSKY, A. J., Does herbivory benefit plants? A review of the evidence. *American Naturalist*, 127:870-892. 1986.
3. BELSKY, A. J., The effects of grazing: confounding of ecosystem, community, and organism scales. *American Naturalist*, 129:777-783. 1987.
4. BERENDSE, F., The effects of grazing on the outcome of competition between plant species with different nutrient requirements. *Oikos*, 44:129-137. 1985.
5. DONG, Q., X. ZHAO, Y. MA, Q. LI and Q. WANG, J. SHI, Studies on the relationship between grazing intensities for yaks and plant groups in *Kobresia Parva* alpine meadow. *Acta Agrestia Sinica*, 7:334-338, 343. 2005. (In Chinese with English abstract).
6. FRISINA, M. R. and R. B. KEIGLEY, Habitat changes, Mount Haggin Wildlife Management Area. *Rangelands*, 26: 3-13. 2004.
7. GAN, Y., Z. LI, Q. WANG, B. ZE, G. LUO, Y. REN, and Y. CHEN, Study on grazing degenerating succession of subalpine meadow in northwestern of Sichuan Province. *Acta Agrestia Sinica*, 13:48-52. 2005. (In Chinese with English abstract).
8. HART, R. H., Plant biodiversity on shortgrass steppe after 55 years of zero, light, moderate, or heavy cattle grazing. *Plant Ecology*,

- 155:111-118. 2001.
9. HASEGAWA, N., R. SONG, M. KOZONO, S. IDOTA, A. NISHIWAKI, G. LI, A. FUKUDA and Q. ZHOU, Differences in yak (*Bos grunniens*) grazing behaviour and chemical composition of feces in the southern and northern Qinghai-Tibetan Plateau in China. *Acta Prataculturae Sinica*, 15(Suppl):286-288. 2006.
10. HOBBS, R. J. and L. F. HUENNEKE, Disturbance, diversity and invasion implications for conservation. *Conservation Biology*, 6:324-337.1992.
11. HOU, F., S. CHANG, Y. YU and H. LIN, A review on trampling by grazed livestock. *Acta Ecologica Sinica* 24:784-789. 2004.
12. HOU, F., and J. REN, Evaluation on trampling of grazed Gansu wapiti (*Cervus elaphus kansuensis* Pocock) and its effects on soil property in winter grazing land. *Acta Ecologica Sinica*, 23:486-495. 2003. (In Chinese with English abstract).
13. HUMPHREY, J. W. and G. S. PATTERSON, Effects of late summer cattle grazing on the diversity of riparian pasture vegetation in an upland conifer forest. *Journal of Applied Ecology*, 37:986-996. 2000.
14. JIANG, X, Relationship of population quantities of Plateau Pika with vegetation homogeneity. *Acta Prataculturae Sinica*, 7:60-64.1998. (In Chinese with English abstract).
15. LI, J., Z. LI and J. REN, The effects of grazing on grassland plants. *Acta Prataculturae Sinica*, 11:4-11. 2002. (In Chinese with English abstract).
16. LIU, J., Z. ZHU and W. ZHENG, Responses of two plant species to grazing practice in alpine and cold meadow under grazing and grazing-suspension. *Acta Bot Boreal-Occident Sinica*, 25:2043-2047. 2005. (In Chinese with English abstract).
17. LIU, W., Q. WANG, X. WANG, L. ZHOU, Y. LI and F. LI, Ecological process of forming "black-soil-type" degraded grassland. *Acta Agrestia Sinica*, 7:300-307. 1999. (In Chinese with English abstract).
18. MA, K., J. HUANG, S. YU and L. CHEN, Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: II. Species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica*, 15:268-277. 1995. (In Chinese with English abstract).
19. MCINTYRE, S., S. LAVOREL, J. LANDSBERG and T. D. A. FORBES, Disturbance response in vegetation - towards a global perspective on functional trait. *Journal of Vegetation Science*, 10:621-630. 1999.
20. MCNAUGHTON, S. J., The propagation of disturbance in savannas through food webs.

- Journal of Vegetation Science, 3:301-314.1992.
21. MILTON, W. E. J., The effect of manuring, grazing and cutting on the yield, botanical and chemical composition of natural hill pastures. I. Yield and botanical section. *Journal of Ecology*, 28:326-356.1940.
 22. 西脇亜也・佐藤衆介・大竹秀男・篠原 久・菅原和夫, 放牧地の草種構成と種多様性に及ぼす異なる放牧管理の影響-北上山系に同時に入植した酪農家 2 戸の放牧地の植生-. *日本草地学会誌*, 45:52-58. 1999.
 23. NOY-MEIR, I., M. GUTMAN and Y. KAPLAN, Responses of mediterranean grassland plants to grazing and protection. *Journal of Ecology*, 77:290-310. 1989.
 24. OSEM, Y., A. PEREVOLOTSKY and J. KIGEL, Grazing effect on diversity of annual plant communities in a semi-arid rangeland: interactions with small-scale spatial and temporal variation in primary productivity. *Journal of Ecology*, 90:936-946.2002.
 25. PENG, Q., and N. WANG, The effects of different grazing systems on the grassland vegetation. *Journal of Applied Ecology*, 26:27-30. 2005. (In Chinese with English abstract).
 26. QIN, G., and G. DU, Similarity, species diversity, and interannual variability in total aboveground biomass in alpine meadow plant community. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 25:979-984. 2005.
 27. QUINN, J. F. and G. R. ROBINSON, The effects of experimental subdivision on flowering plant diversity in a California annual grassland. *Journal of Ecology*, 75:837-856.1987.
 28. 任 継周, 草業科学研究方法(M), 北京. 農業出版社, 1998:1-29
 29. SONG R, N. HASAGAWA, S. IDOTA, G. LI, A. NISHIWAKI, C. JIU, N. XU and Q. ZHOU, Botanical composition, aboveground biomass and grazing behaviour of yak (*Bos grunniens*) in the southern rangeland of Qinghai Province, China. *Acta Prataculturae Sinica*, 15 (Suppl): 289-291. 2006.
 30. TILMAN, D., Community invisibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity. *Ecology*, 78:81-92.1997.
 31. WANG, Q, L. ZHOU and F. WANG, Effect analysis of stocking intensity on the structure and function of plant community in winter-spring grassland. *Alpine Meadow Ecosystem*, 4:364-373. 1995. (In Chinese with English abstract).
 32. WANG, S., The dietary composition of fine wool sheep under different stocking rates and relationship between dietary diversity and plant diversity in Inner Mongolia steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 21:237-243. 2001. (In Chinese with English abstract).
 33. WEI, X, P. YANG, S. LI and H. CHEN, Effects of over-grazing on vegetation degradation of the *Kobresia pygmaea* meadow and determination of degenerative index in the Naqu prefecture of Tibet. *Acta Prataculturae Sinica*, 14:41-49. 2005. (In Chinese with English abstract).
 34. WEST, N., Biodiversity of rangelands. *Journal of Range Management*, 46:2-13. 1993.
 35. WHISENANT, S. G. and F. J. WAGSTAFF, Successional trajectories of a grazed salt desert shrubland. *Vegetatio*, 94:133-140. 1991.
 36. WHITTAKER, R. H., Evolution of diversity in plant communities. *Brookhaven Symposium on Biology*, 22:178-196. 1969.
 37. 烏 云娜・中村 徹・林 一六, 内モンゴルシリンゴル草原における群落の種多様性と現存量. *日本草地学会誌*, 45:140-148. 1999.
 38. YI, R, I. HAYASHI, T. NAKAMURA and M. SIYOMI, Changes in floristic composition of grasslands according to grazing intensity in Inner Mongolia, China. *Grassland Science*, 47: 362-369. 2001.
 39. YUAN, J, X. JIANG, W. HUANG and G. WANG, Effects of grazing intensity and grazing season on plant species diversity in alpine meadow. *Acta Prataculturae Sinica*, 13:1-8. 2004. (In Chinese with English abstract).
 40. ZHOU, H, X. ZHAO, Y. TANG, L. ZHOU, W. LIU and L. YU, Effect of long-term grazing on alpine shrub vegetation in Qinghai-Tibet Plateau. *Grassland of China*, 6:1-11. 2004. (In Chinese with English abstract).
 41. ZHOU, H, L. ZHOU, X. ZHAO, W. LIU, Z. YAN and Y. SHI, Degradation process and integrated treatment of "black soil beach" grassland in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers. *Chinese Journal of Ecology*, 22 (5):51-55. 2003. (In Chinese with English abstract).
 42. ZHOU, H, L. ZHOU, X. ZHAO, W. LIU, Z. YAN and Y. SHI, Influence of grazing disturbance on alpine rangeland. *Grassland of China*, 24:53-61. 2002. (In Chinese with English abstract).
 43. ZHOU, H, L. ZHOU, X. ZHAO, Y. ZHOU, W. LIU and Z. YAN, Effect of fencing on lightly and heavily grazing *Potentilla fruticosa* shrublands. *Acta Arestla Sinica*, 12:140-144. 2004. (In Chinese with English abstract).

Effects of rotational grazing of yak (*Bos grunniens*) in warm and cold seasons on floral diversity and biomass of *Potentilla fruticosa* alpine rangeland in northern Qinghai-Tibetan Plateau

Guomei LI¹, Nobumi HASEGAWA^{2*}, Rende SONG², Sachiko IDOTA²,
Youliang WANG³, Shengqing FENG⁴

¹ The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, 1-21-24, Korimoto, Kagoshima, 890-0065, Japan

² Faculty of Agriculture, University of Miyazaki, 1-1, Nishi, Gakuen-Kibanadai, Miyazaki, 889-2192, Japan

³ Menyuan Prefectural Grassland Station, 2 Quanwanlu, Haomanzhen, Menyuan Prefecture, Haibei State, Qinghai Province, 810300, China

⁴ Menyuan Prefectural Animal Husbandry and Veterinary Station, 2 Quanwanlu, Haomanzhen, Menyuan Prefecture, Haibei State, Qinghai Province, 810300, China

* Corresponding author. E-mail address: nhasegaw@cc.miyazaki-u.ac.jp

Summary

Effect of rotational grazing of yak in two (warm and cold) seasons for over 20 years on species diversity and biomass of plants was investigated in *Potentilla fruticosa* rangeland in northern Qinghai-Tibetan Plateau. In the paddock grazed in warm seasons (WSP), 37 species (Gramineae : Cyperaceae : forbs : shrubs = 6 : 5 : 23 : 3) appeared and 44 (Gramineae : Cyperaceae : forbs : shrubs = 7 : 6 : 27 : 4) did in that grazed in cold seasons (CSP). WSP was smaller in values of Richness, Shannon-Wiener, Simpson and Pielou evenness indices than CSP. Vegetation coverage and community height were significantly lower in WSP than in CSP ($p < 0.01$). Number of plant species was significantly smaller in WSP (7-16 species/m²) than in CSP (17-22 species/m²) ($p < 0.001$). Aboveground biomass of Gramineae was significantly lower in WSP than in CSP ($p < 0.01$). Subdominant species in WSP were *Kobresia humilis*, *Leontopodium nanum* and *Potentilla anserina* which were short in height and grazing-resistant, while those in CSP were *Poa pratensis*, *Elymus nutans* and *Kobresia capillifolia* which were tall in height. It was considered that long-term rotational grazing of yak in warm and cold seasons decreased floral diversity and biomass of plants, especially in Gramineae in WSP as compared with those in CSP, and the deterioration was going on in WSP.

Key Words: yak, floral diversity, biomass, rotational grazing, Qinghai-Tibetan Plateau

Animal Behaviour and Management, 43 (1): 1-8, 2007

(Received 5 October 2006; Accepted for publication 30 November 2006)