基于以色列 Noy-Meir 放牧系统动态模型提升青藏高原草地放牧管理决策

丁路明^{1,2*}, 胡长胜¹, 姜翠霞¹, Zalmen Henkin³

1. 兰州大学生命科学学院, 草地农业生态系统国家重点实验室, 兰州 73000;

2. 青海大学青海省高寒草地适应性管理重点实验室, 西宁 810016;

3. Newe-Ya'ar Research Center, Agricultural Research Organization, Yishay 30095, Israel

* 联系人, E-mail: dinglm@lzu.edu.cn

我国北方主要的放牧区位于青藏高原高寒草原以及黄土高原的干旱草原区。青藏高原不仅是我国重要的牧区之一, 也是非常重要的生态屏障。家畜作为草地生态系统的重要组成部分, 对维系草地生态系统功能、健康、保持生物多样性(地上植被、昆虫、土壤微生物和动物等)起着重要的作用^[1-4]。适宜的家畜数量、合理的放牧管理策略对于维系草地生态系统的生态和生产功能具有重要意义。草畜平衡一直是草地管理的核心议题, 是家畜营养需求和草地牧草供给达到协调一致的理想化要求。在实际制定草畜平衡管理策略时, 需要面对多种多样的因素, 例如家畜种类、生理状态, 以及复杂多变的草场类型、可食牧草种类、牧草数量和质量等, 同时还需要考虑野生动物的需求、生态维持等诸多因素, 给精准制定和实施草畜平衡带来诸多挑战。草地载畜量(carrying capacity)是草畜平衡管理的核心概念^[5]。草地载畜量多表述为草地适宜承载家畜的数量^[6], 由草地、家畜和放牧时间三要素构成^[7]。

1 Noy-Meir 模型参数

以色列希伯来大学农业、食品和环境质量科学学院 Noy-Meir 教授^[8]于 1975 年提出“捕食者(predator)-被捕食者(preys)”放牧草地管理概念。将放牧草食家畜定义为捕食者, 将牧草定义为被捕食者, 被称为 Noy-Meir 草地放牧管理模型。该模型主要关注牧草生长(地上生物量)和家畜采食(采食量)两个过程。经过校正, 该模型能够应用于放牧草地生态系统的管理预测, 方便指导草地管理。

基于可食牧草在不同时间点的地上生物量, Noy-Meir 模型主要分析牧草生长和家畜采食两个过程, 模型参数见表 1。

牧草返青后, 其生长率(G)逐渐增加并在青草期达到最大值(V_x)后下降至牧草停止生长($G=0$)(图 1)。牧草生长率和生物量遵循以下方程^[9]:

$$G = kV(1 - V/V_x), \quad (1)$$

丁路明 博士, 兰州大学生命科学学院副教授、青海大学畜牧兽医学研究院客座研究员。长期致力于青藏高原放牧管理、反刍家畜营养研究, 在牦牛牧食行为、能量代谢、牦牛犊早期断乳、中草药饲料添加剂等领域开展了系列研究。先后赴荷兰瓦赫宁根大学、美国宾夕法尼亚州立大学、以色列农业研究组织和法国国际农业发展研究中心开展访问学习和交流。

不同牧草其相对生长率(k)不同, 不同物种之间变化比较大。综合平均, 在地中海型草原采用的多年生牧草生

表 1 Noy-Meir 草地放牧管理模型参数^{a)}

Table 1 List of parameters of Noy-Meir grassland grazing management

参数	定义	单位	估测值
C	单位面积畜群日采食量	kg/(ha d)	
D	牧草返青后多少天家畜开始放牧采食	ds	
G	牧草生长率	kg/(ha d)	
H	载畜量	animals/ha	
I	家畜牧草日采食量(单个家畜)	kg/d	
I_x	家畜最大日采食量(单个家畜)	kg/d	6
k	牧草相对生长率	d ⁻¹	0.03
QF	干草相对质量因子		0.5
Te	牧草生长季	d	
Tg	放牧终止的时间	d	
V	牧草生物量	kg/ha	
V_i	牧草返青后地上生物量	kg/ha	30
V_r	采食量为 0 时的牧草地上生物量	kg/ha	80
V_s	放牧效率	kg/ha	400
V_x	牧草地上最大生物量(不放牧情况下)	kg/ha	1200

a) 所有关于牧草生物量的数据基于干物质基础

图 1 牧草生长率(G)和地上生物量(V)的关系

Figure 1 The relationship between grass growth rate (G) and grass biomass (V)

长率为 $0.03^{[10,11]}$. 本研究综合考虑青藏高原放牧草场状况, 以多年生莎草科、禾本科牧草为主, 且受高寒气候影响, 生长缓慢, 牧草相对生长率确定为 0.03 . 其较准确数值的确定需要根据式(1)进一步做定位监测实验获取. 当草地牧草生物量(V)高于家畜能够采食的最低生物量(V_r)时, 家畜日采食量(I)随草地牧草生物量的增加而增加, 直至达到最大采食量(I_x)(图 2). 当牧草停止生长, 随着家畜采食的持续进行, 采食量逐渐下降. 由于干草期牧草品质低于青草期, 相对于青草期牧草品质, Noy-Meir 模型设置干草期牧草相对质量因子 $QF=0.5$. 基于 Noy-Meir 模型, 家畜采食量和牧草生物量遵循以下方程:

$$I = I_x \left(1 - e^{-[(V - V_r)/(V_s - V_r)]} \right), \quad (2)$$

放牧效率(V_s)指草地上生物量(V)和家畜采食量(I)相关关系的趋势线斜率(图 2), 根据式(2), 当 $V=V_s$ 时, $I=0.63I_x$. V_s 也指当家畜采食速率(kg/d)为其能饱食采食量(最大采食量)63%时的牧草生物量. 在青藏高原以放牧牦牛为例, 根据已发表的草地地上生物量季节变化和牦牛采食量数据及经验值, 设定牦牛最大采食量(I_x)为 6 kg/d , 采食速率为 $0.63I_x$, 也即 3.78 kg/d 时, 其对应的 V_s 值约为 $400 \text{ kg/ha}^{[12-14]}$ (图 2). Noy-Meir 模型的另外一个关键因子是单位面积畜群日采食量(C), 其取决于单个家畜日采食量(I)和载畜量(H , 单位面积放牧家畜数量)两个指标, 并遵循以下方程:

$$C = IH. \quad (3)$$

家畜载畜量(H)和草地牧草生物量(V)以及畜群日采食量(C)的关系示意图(图 3)表明, 适宜的载畜量是草地生态系统中草畜平衡的关键. 当草地放牧采食开始后, 随着载畜量的增大, 草地牧草地上生物量下降, 畜群日采食量增大. 而当载畜量达到阈值范围 e 和 f 之间时, 会显著降低草地牧草生物量和家畜畜群日采食量(图 3), 这也是控制家畜载畜量的关键节点. 由于牧草生长在前期生长快, 而后期生长缓慢直至停止, 导致家畜载畜量在 e 和 f 时出现不同的牧草生物量和畜群日采食量. 因此, 确定载畜量 e 和 f 是草畜平衡放牧管理的关键. 为了确保一定数量的放牧家畜能够获取足

图 2 家畜日采食量(I , 以牦牛为例)和地上生物量(V)的关系

Figure 2 The relationship between daily dry matter intake (I , take yak as an example) and grass biomass (V)

图 3 家畜载畜量和草地生物量(a)、畜群日采食量(b)关系示意图. e, f 为关键载畜量阈值

Figure 3 The relationship between carrying capacity and grass biomass, consumption rate. e and f are the threshold value of carrying capacity

够的采食量, 放牧管理需要在牧草返青后生长到合适生物量时再允许家畜放牧采食, 避免牧草返青初期开始放牧.

大多数放牧草地以及青藏高原都存在牧草生长季初期生物量低、生长季短的问题^[9]. 牧草刚开始返青后, 如果此时允许家畜放牧采食, 牧草地上生物量不能满足家畜采食需要量, 不仅导致家畜由于无法采食获取足够的牧草体况急剧下降, 而且影响牧草的正常生长. 关于青藏高原牦牛的研究也已经证明这一现象, 返青期放牧由于返青牧草低矮, 牦牛无法提高单口采食量, 而且经过漫长的枯草期,

牦牛在返青期存在“赶青”现象,导致体能消耗快,加之采食量不足,体重下降迅速^[15]。牧草返青后多久适合家畜采食是放牧管理的一个关键决策。

Noy-Meir 模型的创建主要基于式(1)和(3),也就是草地牧草生长和家畜采食两个关键模块之间的平衡。根据实验或经验确定模型相关因子后,草地管理者主要关注的就是家畜载畜量(H)和牧草返青后允许家畜采食时间(D)两个变量。

以青藏高原牦牛放牧系统为例,根据已发表论文报道数据和经验值确定 Noy-Meir 模型相关参数指标数值如下(实际模型运行时需要根据具体情况进行相关参数的校正):牧草最大生物量 $V_x=1200$ kg/ha; 牧草生长期 $T_e=120$ d; 放牧终止时间 $T_g=300$ d; 牧草相对生长率 $k=0.03$ d⁻¹; 干草相对质量因子 $QF=0.5$; 牦牛最大日采食量 $I_x=6$ kg/d; 牦牛能够采食的牧草最低生物量 $V_r=80$ kg/ha; 放牧效率 $V_s=400$ kg/ha。

2 牧草生物量与家畜载畜量的关系

在牧草生长季牧草生长率逐渐增大,生物量也在生长

季末期达到最大值(图 4)。随着家畜载畜量的增大,导致牧草生长率和地上生物量下降。牧草刚返青后,地上生物量非常低,低于能够满足牦牛采食的最低生物量($V_r=80$ kg/ha)。因此,如果在青藏高原牧草生物量达到 V_r 之前开始放牧牦牛($D=0$),牦牛将无法通过放牧采食获取足够的牧草,需要靠动用体内能量贮存(体脂等)维持生存。这也是导致青藏高原放牧牦牛出现“春乏(死)”的主要原因^[16]。在传统牦牛放牧管理中,仍然采用春季牧草返青期放牧的管理方式,部分牧户开始准备干草等饲草料用于牧草返青期补饲。当牧草返青后 60 d($D=60$),其地上生物量高于允许牦牛采食的最低生物量(80 kg/ha)时,牦牛开始放牧采食,在较低载畜量下($H=0.5$; $H=1$; $H=2$),随着牧草的生长,地上生物量仍然呈增加趋势。而当牧草停止生长后,每公顷放牧 0.5 和 1 头牦牛可维持牧草生物量持续稳定下降,直至放牧后期,并保持地上有可供牦牛采食的牧草。而当载畜量 $H=2$ 时,地上牧草仅能维持牦牛采食 100~120 d。当 $H \geq 3$ 时,从开始放牧时的地上牧草生物量就难以满足牦

图 4 (网络版彩色)不同载畜量下家畜放牧时间与牧草生物量(a)~(c),以及牧草生长率和单位面积畜群日采食量(d)~(f)的关系

Figure 4 (Color online) The relationship of the length of grazing deferment with herbage mass (a)~(c), herbage growth rate and herd intake (d)~(f) under different stocking rates

牛的采食需求. 从牧草生长率(G)和单位面积畜群日采食量(C)的关系图(图 4(e))也可以看出, 如果牧草返青 60 d 后开始放牧, 在 $H=0.5$ 时, 牧草生长率远高于畜群日采食量, 牧草充足. 当 $H=2$ 时, 随着牧草生长率的提高, 畜群日采食量也随之增加, 当牧草停止生长时, 由于剩余地上生物量的减少, 畜群采食量急剧下降. 而当 $H=4$ 时, 放牧初期($D=60$)牧草生长率就低于畜群日采食量, 导致后期的牧草生长率呈下降趋势, 整个生长季牧草都不能满足牦牛的采食需求, 说明每公顷放牧 4 头牦牛的载畜量($H=4$)超出了草场的承载能力.

牧草返青后 60 d 开始放牧, 符合青藏高原较普遍的夏季草场管理模式^[17]. 青藏高原家畜放牧, 一般每年 7 月转场到夏季草场开始放牧, 此时牧草已经生长约 50~60 d, 直至 10~11 月. 因此夏季草场放牧, 需根据放牧时间和草场生物量, 调整适宜的载畜量, 以确保在放牧期间内有足够的牧草供应量.

而在牧草返青后 120 d($D=120$)开始放牧, 也就是牧草生长季不放牧, 该草场管理类似于青藏高原冬春草场的管理模式. 虽然冬春草场在牧草返青期大多会放牧利用一段时间. 在此管理模式, 家畜只能采食干枯牧草(只在冬春季放牧). 当 $H \geq 2$ 时, 牧草生物量急剧下降(图 4(c)), 而在 60 d 放牧期内, 畜群日采食量也由 8 kg/(ha d)下降至约 4 kg/(ha d)(图 4(f)). 因此, 如果计划至少 2~3 个月放牧利用该草场, 载畜量不应高于每公顷放牧 2 头牦牛($H=2$).

3 放牧期内家畜采食总量与放牧时间和载畜量的关系

由于在放牧期内牧草生长率不一致, 采用家畜放牧期牧草总采食量(cumulative consumption, CUMC)可以总体反映草地牧草的供应能力与家畜牧草需求量的关系. 在牧草生长季放牧期内家畜采食总量与开始放牧时间(D)和载畜量(H)的三维曲面图可以清晰反映三者之间的关系(图 5). 该三维关系图基于青藏高原牦牛放牧系统已发表和经验数据采用 Noy-Meir 模型制作. 随着放牧开始时间的延后和载畜量的增大, 畜群可以获得较高的总采食量(图 5(a)). 当牧草返青后 80~90 d($D=80\sim90$)开始放牧, 而载畜量在每公顷 1.5 头牦牛左右时可以获得较高的畜群总采食量(图 5(a))和每头牛平均的总采食量(图 5(b)), 并维持至牧草生长季末. 随着载畜量的增大, 放牧期内单位家畜总采食量下降, 尤其在牧草返青较早时开始放牧会导致更低的单位家畜总采食量值. 放牧期内单位家畜平均日采食量随放牧时间的延迟(D)和载畜量(H)的降低而升高(图 5(c)). 在 $D=80\sim90$, $H \leq 1$ 时, 可以获得较高的单位家畜平均日采食量(≥ 1.5 kg/(ha animal d)).

根据草场和家畜状况, 利用 Noy-Meir 模型编制家畜总采食量、开始放牧时间和载畜量的三维曲面图可以方便

图 5 (网络版彩色)放牧期内家畜总采食量(CUMC)与放牧开始时间(D)、载畜量(H)的三维关系图. (a) 放牧期内单位面积畜群采食总量(kg/ha); (b) 单位家畜放牧期内采食总量(kg/(ha animal)); (c) 单位家畜放牧期内平均日采食量(kg/(ha animal d))

Figure 5 (Color online) The three-dimensional surface relationship among livestock cumulative grass consumption (CUMC), grazing deferment (D) and stocking rate (H) during the grazing period. (a) Cumulative grass consumption per unit area (kg/ha); (b) cumulative grass consumption per animal (kg/(ha animal)); (c) mean grass consumption per animal per d (kg/(ha animal d))

评估和制定草场的适宜载畜量, 以及开始放牧时间、放牧周期等管理策略.

4 结语

天然草原的生产功能主要以放牧饲养家畜, 生产乳、肉、毛等畜产品为主, 是维系人与自然环境协调、统一、共存的必要功能. 天然草原的另外一个重要功能是生态功能. 青藏高原素有“亚洲水塔”之称^[18], 可见其生态作用的重要性. 青藏高原海拔高、气温低、氧气稀薄, 恶劣的自然条件导致牧草生长季短、生长缓慢, 也导致草地极易受

到扰动、破坏,难以恢复。如何在生产和生态之间寻找平衡,一直是青藏高原草地管理者和研究者探索的热点。其中,草畜平衡管理策略的制定是关键,这里的“畜”泛指草食动物。畜多草少,导致家畜采食不足,草场被过度利用、退化,这也是目前普遍存在较多的草场管理问题。相反,如果走向另一个极端——禁牧,又会导致牧草簇生、生物多样性降低等生态问题^[3]。合理利用草原是维持草地健康、生态系统正常运转的关键。

区别于人工生态系统,青藏高原草地生态系统更具复杂性和多变性。其放牧管理也应根据草地系统和家畜的变化,采取相应的应对措施。仅仅根据草场和家畜当前状况

制定管理措施,往往产生滞后效应。根据积累的数据和经验,并不断补充完善,采用放牧管理模型,预测管理效果,可以有效地帮助管理者制定管理策略。本研究采用以色列 Noy-Meir 草地管理模型,以放牧牦牛作为研究对象进行验证,能够方便地根据牧草生长率预测不同时期牧草地上现存量,进而做出放牧时间以及适宜放牧率的管理策略。经初步验证,该模型可以简便地调整家畜放牧率、开始放牧时间以适应牧草生长和草场牧草供应量,适合于青藏高原家畜放牧管理系统。在实际应用中,需要根据青藏高原草场和家畜特点调整、修订相关参数,以更真实地反映草畜状况,协助制定草场管理方案。

致谢 感谢青海省重大科技专项(2018-NK-A2)、国家重点研发计划(2018YFD0502302, 2016YFC0501805)、青海省重点研发与转化计划(2018-SF-145, 2017-NK-114)和高寒草地-家畜系统适应性管理技术平台项目(2020-ZL-T07)资助。

推荐阅读文献

- 1 Zhu H, Wang D L, Wang L, et al. The effects of large herbivore grazing on meadow steppe plant and insect diversity. *J Appl Ecol*, 2012, 49: 1075–1083
- 2 van Klink R, van der Plas F, van Noordwijk C G E, et al. Effects of large herbivores on grassland arthropod diversity. *Biol Rev*, 2015, 90: 347–366
- 3 Eldridge D J, Poore A G B, Ruiz-Colmenero M, et al. Ecosystem structure, function, and composition in rangelands are negatively affected by livestock grazing. *Ecol Appl*, 2016, 26: 1273–1283
- 4 Wang L, Baquerizo M D, Wang D L, et al. Diversifying livestock promotes multidiversity and multifunctionality in managed grasslands. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2019, 116: 6187–6192
- 5 Wang D L, Wang L. New perspective on the concept of grassland management (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2019, 64: 1106–1113 [王德利, 王岭. 草地管理概念的新释义. *科学通报*, 2019, 64: 1106–1113]
- 6 Heady H F. *Rangeland Management*. New York: McGraw Hill, 1975
- 7 Ren J Z. Grazing, the basic form of grassland ecosystem and its transformation (in Chinese). *J Nat Resour*, 2012, 27: 1259–1275 [任继周. 放牧, 草原生态系统存在的基本方式——兼论放牧的转型. *自然资源学报*, 2012, 27: 1259–1275]
- 8 Noy-Meir I. Stability of grazing systems: An application of predator-prey graphs. *J Ecol*, 1975, 63: 459–481
- 9 Ungar E D, Seligman N G, Noy-Meir I. Grass grows, the cow eats: A simple grazing systems model with emergent properties. *J Biol Educ*, 2004, 38: 178–182
- 10 Reich P D, Buschena C, Tjoelker M C, et al. Variation in growth rate and ecophysiology among 34 grassland and savanna species under contrasting N supply: A test of functional group differences. *New Phytol*, 2003, 157: 617–631
- 11 Seligman N G, Ungar E D, Perevolotsky A, et al. An assessment of grazing management options for Mediterranean grasslands using Noy-Meir's model of system dynamics parameterized from a long-term field trial. *J Agric Sci*, 2018, 156: 1205–1215
- 12 Li F X, Li X D, Zhou B R, et al. Effects of grazing intensity on biomass and soil physical and chemical characteristics in alpine meadow in the source of three rivers (in Chinese). *Pratacult Sci*, 2015, 32: 11–18 [李凤霞, 李晓东, 周秉荣, 等. 放牧强度对三江源典型高寒草甸生物量和土壤理化特征的影响. *草业科学*, 2015, 32: 11–18]
- 13 Xu M H, Liu M, Zhai D T, et al. Dynamic changes in biomass and its relationship with environmental factors in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau, based on simulated warming experiments (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2016, 36: 5759–5767 [徐满厚, 刘敏, 翟大彤, 等. 青藏高原高寒草甸生物量动态变化及与环境因子的关系——基于模拟增温实验. *生态学报*, 2016, 36: 5759–5767]
- 14 Dai L C, Ke X, Cao Y F, et al. Allocation patterns of above-and belowground biomass and its response to meteorological factors on an alpine meadow in Qinghai-Tibet Plateau (in Chinese). *Acta Ecol Sin*, 2018, 39: 486–493 [戴黎聪, 柯浔, 曹莹芳, 等. 青藏高原矮嵩草草甸地下和地上生物量分配格局及其与气象因子的关系. *生态学报*, 2018, 39: 486–493]
- 15 Ding L M, Long R J, Yang Y H, et al. Behaviour responses by yaks, in different physiological states (lactating, dry or replacement heifer), when grazing natural pasture in spring (dry and germinating) season of Qinghai-Tibetan Plateau. *Appl Anim Behav Sci*, 2007, 108: 139–250
- 16 Ding L M, Wang Y P, Brosh A, et al. Seasonal heat production and energy balance of grazing yaks on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Anim Feed Sci Tech*, 2014, 198: 83–93
- 17 Long R J, Ding L M, Shang Z H, et al. The yak grazing system on the Qinghai-Tibetan Plateau and its status. *Rangeland J*, 2008, 30: 241–246
- 18 Xu X D, Dong L L, Zhao Y, et al. Effect of the Asian Water Tower over the Qinghai-Tibet Plateau and the characteristics of atmospheric water circulation (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2019, 64: 2830–2841 [徐祥德, 董李丽, 赵阳, 等. 青藏高原“亚洲水塔”效应和大气水分循环特征. *科学通报*, 2019, 64: 2830–2841]

Summary for “基于以色列 Noy-Meir 放牧系统动态模型提升青藏高原草地放牧管理决策”

Improving the grassland management strategies of Qinghai-Tibetan Plateau based on Israeli Noy-Meir's grazing-system dynamics model

Luming Ding^{1,2*}, Changsheng Hu¹, Cuixia Jiang¹ & Zalmen Henkin³

¹ State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

² Qinghai Provincial Key Laboratory of Adaptive Management on Alpine Grassland, Qinghai University, Xining 810016, China;

³ Neve-Ya'ar Research Center, Agricultural Research Organization, Yishay 30095, Israel

* Corresponding author, E-mail: dinglm@lzu.edu.cn

Grassland is one of the important natural ecosystems in the world, which not only play an important ecological role, but is also the main source for livestock production. Because of overgrazing in many of these lands, degradation is extending, which is an overall key issue in China. The Qinghai-Tibetan Plateau, which is often called the “roof of the world”, is known for its high altitude, low temperature and oxygen content, strong ultraviolet radiation and for its short-term grass growing season. This makes it a vulnerable system, while once damaged, it is very hard to recover. Therefore, it is essential to sustain the eco-function of this alpine grassland system. Reasonable grassland management practice is important for maintaining a sustainable healthy ecosystem. As overgrazing is one of the main causes for degradation of grassland, the proper management should take it account the balance between livestock and vegetation components, and it is essential to select an appropriate stocking rate strategy. Optimal production from pastures is gained only when animal needs and the productive capacity of the pasture are balanced. Stocking rate is usually defined as the number of animals per unit area for a given time period, but is affected by a series of factors, such as animal breeds, animal size and weight, animal performance, animal physiological state, climate environment, resources, grass growing rate and biomass and grass grazing tolerance. Therefore, it is challenging to select the optimal stocking rate, and as so it restricts the planning of reasonable grassland management strategies. In addition, forage biomass and its nutritive quality are dynamic and there is no constant stocking rate that is best for all situations. With the fast development of innovative technology and knowledge, models make possible the attempt to determine proper stocking rates and grazing strategies, while taking in account the balance between livestock and vegetation. But most models are complex while using highly detailed simulations input of many parameters, including grassland, climate, forage, animal physiology and weight, cost and policy, which restrict their use and extension. And so, most farmers are not skilled to use these complicated models in practice. The grassland grazing management model, which was developed by an Israeli researcher, Prof. Immanuel Noy-Meir, is simple, which focusing only two basic processes that determine biomass dynamics, including plant growth and animal consumption of herbage, with a second fundamental management tool, grazing deferment at the start of the green season. The two basic factors are adjusted to be conformed to herbage mass to obtain optimum animal production. This current paper tested Noy-Meir's model in a yak grazing system of Qinghai-Tibetan Plateau. The parameters in Noy-Meir's model in this paper were adjusted, based on published and empirical data from the Qinghai-Tibetan yak grazing system in order to analyze the feasibility of using this model for helpful decision making for improving grazing management strategies in alpine grassland in China. The outcome shows that Noy-Meir's model is easier and helpful for planning grazing practices in Qinghai-Tibetan Plateau grassland. In order to improve the precision of Noy-Meir's model, the parameters still need better adjustment based on the specific pasture conditions.

stocking rate, balance between livestock and vegetation, grassland function, herbage intake, grass biomass

doi: 10.1360/TB-2020-0238