

# 休牧对无芒雀麦改良草甸草原牧草生长速率及现存量和营养品质的影响

张 浩<sup>1</sup>, 蔡金宏<sup>2</sup>, 罗建川<sup>3</sup>, 杨高文<sup>4</sup>, 刘 楠<sup>4</sup>,  
任海彦<sup>5</sup>, 师尚礼<sup>1</sup>, 张英俊<sup>1,4</sup>

(1. 甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 西藏农牧学院 动物科学学院, 西藏 林芝 860000; 3. 中国科学技术大学 生命科学学院, 安徽 合肥 230026; 4. 中国农业大学 草业科学与技术学院/农业农村部草地管理与合理利用重点实验室, 北京 100193; 5. 南京农业大学 草业学院, 江苏 南京 210095)

**摘要:**休牧是提高草地可持续利用的重要方式。采用“放入—取出”的放牧率调控技术,以持续放牧作为对照,研究了早期休牧(6月15~7月15日休牧)、中期休牧(7月15~8月15日休牧)和晚期休牧(8月15~9月15日休牧)对呼伦贝尔改良草甸草原牧草生长速率,现存量和可提供牧草营养品质的影响,以探究何时休牧能够提高牧草生长速率,现存量和营养品质。结果表明:(1)牧草生长速率和可提供牧草的营养成分在休牧处理间差异不显著( $P>0.05$ ),但早期和中期休牧的牧草现存量显著高于持续放牧( $P<0.01$ );(2)2016年牧草生长速率和营养成分均极显著低于2015年和2017年( $P<0.01$ );(3)年份和放牧时期的交互作用对牧草生长速率和营养成分有极显著地影响( $P<0.01$ ),且牧草生长速率在放牧期间的变化是造成牧草营养成分变化的主要原因。总体而言,早期和中期休牧有利于提高牧草现存量,但牧草的生长速率和营养品质不受休牧时期的影响。

**关键词:**休牧;牧草现存量;牧草生长速率;牧草营养品质

**中图分类号:**S812 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)01-0001-10

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyecp.2020.01.001

放牧是高质量、低成本利用草地饲养家畜的有效方式,能促进家畜的健康,是草地管理的重要环节<sup>[1]</sup>。但由于过度放牧等因素,我国90%的草原经历了不同程度的退化<sup>[2]</sup>。草地退化引起草地物种多样性和生产力的下降,也导致放牧家畜采食不足、生产性能降低,严重影响了牧民的生计和牧区畜牧业的可持续发展。因此,需要对传统的放牧管理进行优化,进而实现生态

环境保护和经济发展的双赢<sup>[3]</sup>。放牧率是影响家畜生产和草地状况的最重要的指标<sup>[4]</sup>,是放牧者进行草地管理的重要手段<sup>[5]</sup>。目前,多数专家学者已从放牧率的角度对天然草地放牧家畜的生产性能、植物群落动态以及土壤生物和非生物因子的变化规律等方面开展了大量研究,探讨了不同草地类型的适宜放牧率<sup>[6-13]</sup>。以上研究多以持续放牧为研究对象,然而,在适度放牧条件下,通过调控放牧时间是否可以实现草地的高效生产,还有待深入研究。

休牧是指在一年内一定时期对草地施行禁止放牧利用的措施,它是在当前草地生态系统由于载畜量过大、过度放牧等原因遭到严重破坏的情况下逐渐形成的一种放牧方式<sup>[14]</sup>。朱立博、李青丰等<sup>[15-18]</sup>对我国北方草原的研究发现,休牧可以保护植物的生长节律,

收稿日期:2019-04-23; 修回日期:2019-07-05

基金项目:国家自然科学基金项目(重点项目,31830092);  
国家牧草产业技术体系项目(CARS-35)资助

作者简介:张浩(1991-),男,河南浉池人,在读博士。

E-mail: zhanghaolyg2009@163.com

张英俊为通讯作者。

E-mail: zhangyj@cau.edu.cn

促进植物繁殖更新以及营养物质贮存,提高牧草产量,改善草地群落结构,利于草地植被恢复。但这些试验中,研究的时期大多是返青期,研究的对象多为休牧结束后草地植被群落结构特征,而在生长季控制放牧条件下,进行不同时期的休牧对整个放牧季牧草生长速率、现存量和草地植被营养特征的影响研究较少。

以呼伦贝尔草甸草原无芒雀麦(*Bromus inermis*)改良草地为研究对象;根据牧后剩余量法确定可持续利用水平,利用“放入—取出”的方法(Put and take stocking)调控放牧绵羊数量,使牧后剩余量控制在预设值;以持续放牧作为对照,并设置早期休牧、中期休牧和晚期休牧3种休牧方式。研究了适度放牧条件下不同时期的休牧对牧草生长速率,现存量和可提供牧草营养品质的影响。以期探讨在适度放牧条件下有利于提高牧草生长速率,现存量和可提供牧草营养品质的休牧方式,为合理利用草地提供技术支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验样地概况

试验在2015~2017年开展,试验地点位于内蒙古自治区呼伦贝尔市陈巴尔虎旗特尼河农牧场第九生产队,地理位置N 49°20′~49°26′、E 119°55′~120°9′,海拔628~649 m,依托呼伦贝尔草地农业生态系统试验站开展。试验所在地区属温带大陆性季风气候,年均温-2~-1℃,>10℃年积温1 780~1 820℃,年无霜期90~115 d,年平均降水量350~410 mm,季节分布极不平衡,主要集中在6~9月,占全年降水量的75%。2015~2017年试验期间,植物生长季(4~9月)的平均气温和降水量分别为14.2℃和209.3 mm(图1)。该区域草原土壤类型为黑钙土或暗栗钙土,土层厚30~40 cm,0~10 cm土层土壤的有机质含量为5.1%。研究涉及到的草地为改良草甸草原,在改良前为重度退化草地。该草地在1997年补播了无芒雀麦(*Bromus inermis*),之后一直进行刈割利用(每年8月15日左右刈割1次)。目前,该草地以羊草(*Leymus chinensis*)、无芒雀麦为优势种,主要伴生植物有日阴菅(*Carex pediformis*)和二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)。放牧前(6月15日),2015~2017年牧草的平均现存量为1 099 kg/hm<sup>2</sup>。

### 1.2 试验设计

在适度放牧条件下,以持续放牧(Continuous

Grazing,CG)为对照,并设置3种休牧方式:早期休牧(Early-resting,R1)、中期休牧(Mid-resting,R2)和晚期休牧(Late-resting,R3)。试验设计选用随机区组试验设计,共设置3个区组,每个区组包含7个放牧小区,每个放牧小区约1 hm<sup>2</sup>;其中,CG在每个区组内有1个放牧小区,共计3个重复;R1、R2和R3在每个区组内各有2个放牧小区,分别有6个重复;因此,本试验共包含21个放牧小区。试验共进行了3年(2015~2017年),每年的6月15~9月15日为放牧季;根据优势种植物生长节律和当地气温变化规律,将放牧季划分成3个时期:早期(Period 1,P1;6月15~7月15日)、中期(Period 2,P2;7月15~8月15日)和晚期(Period 3,P3;8月15~9月15日)(表1)。

表1 放牧方式处理

Table 1 Grazing methods of different treatments

| 处理       | 早期<br>(06-15~07-15) | 中期<br>(07-15~08-15) | 晚期<br>(08-15~09-15) |
|----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 持续放牧(CG) | 放牧                  | 放牧                  | 放牧                  |
| 早期休牧(R1) | 休牧                  | 放牧                  | 放牧                  |
| 中期休牧(R2) | 放牧                  | 休牧                  | 放牧                  |
| 晚期休牧(R3) | 放牧                  | 放牧                  | 休牧                  |

设定每个时期的牧后剩余量,采用放入—取出的放牧压调控技术来调控放牧绵羊数量,使每个时期结束后的现存量与所设定的牧后剩余量接近(表2)。每个时期开始前,根据牧草现存量和该时期的牧后剩余量来确定该时期的放牧羊只数。另外,设置2个面积分别为2 hm<sup>2</sup>的“牧压调控区”,在放牧过程中,当牧草现存量低于所设定的牧后剩余量时,将放牧小区的绵羊移出至“牧压调控区”。

### 1.3 羊群管理

每年放牧试验开始前,从试验站饲养的羊群中挑选约200只13月龄(2015和2016年)或25月龄(2017年)体重相近的空怀呼伦贝尔绵羊作为试验用羊。购买后,打耳标,体内外驱虫,然后将绵羊分至各小区放牧。在放牧过程中,绵羊全天在小区内放牧,每个小区设置1个遮阳棚供其休息,且水,食盐和舔砖充足供应。同时,试验人员用目测法估测牧草现存量<sup>[19]</sup>,当牧草现存量低于所设定的牧后剩余量时,停止放牧,测定绵羊空腹重。当牧草现存量没有低于所设定的牧后剩余量时,则每月15日测定绵羊的空腹重;同时,按照

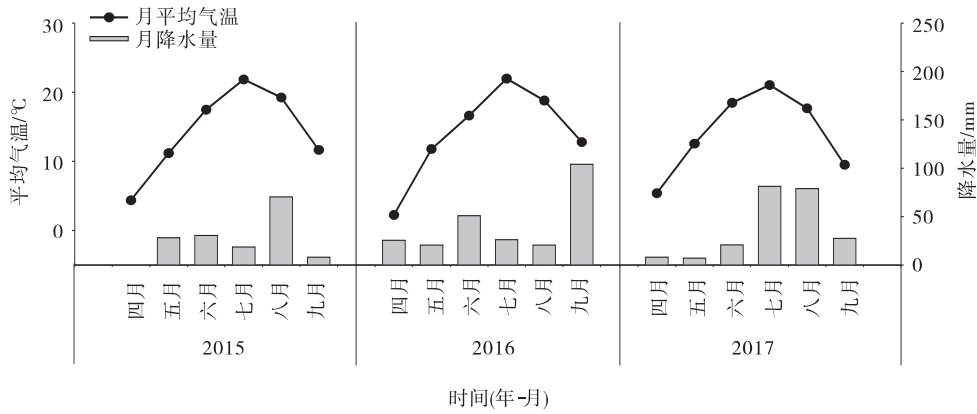


图 1 2015~2017 年生长季(4~9 月)月平均气温和月降水量

Fig. 1 Seasonal patterns of monthly air temperature and rainfall during the growing season (April to September) from 2015 to 2017

各处理的放牧方式及所需绵羊数量将绵羊分群,开始下一时期的试验。每个时期放牧率的计算如下:

放牧率[S E/(hm<sup>2</sup> · 30 days)]=

$$\frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i + b_i}{2} \times \text{Grazing days}}{50 \text{ kg} \times 30 \text{ days} \times \text{Plot area}}$$

式中,S E 为羊单位,设定 1 头 50 kg 体重的绵羊为 1 个羊单位;30 d 为 1 个时期; $a_i$  为放牧开始时,第  $i$  只羊的空腹重(kg); $b_i$  为放牧结束时,第  $i$  只羊空腹重(kg); $n$  为每个小区的放牧绵羊只数;Grazing days 为每个小区绵羊实际放牧天数(d);Plot area 为小区面积(hm<sup>2</sup>)。每小区在放牧季的放牧率则为 3 个时期放牧率的平均值。

表 2 2015~2017 年各时期所设定的草地  
牧草牧后剩余量

Table 2 Remained herbage standing crop (kg/ha) in each period after grazing from 2015 to 2017

| 年份   | 时期 | 放牧处理         |              |              |              |
|------|----|--------------|--------------|--------------|--------------|
|      |    | 持续放牧<br>(CG) | 早期休牧<br>(R1) | 中期休牧<br>(R2) | 晚期休牧<br>(R3) |
| 2015 | 1  | 1 200        | /            | 1 200        | 1 200        |
|      | 2  | 1 200        | 1 200        | /            | 1 200        |
|      | 3  | 1 200        | 1 200        | 1 200        | /            |
| 2016 | 1  | 1 000        | /            | 1 000        | 1 000        |
|      | 2  | 800          | 800          | /            | 300          |
|      | 3  | 500          | 500          | 500          | /            |
| 2017 | 1  | 800          | /            | 800          | 800          |
|      | 2  | 600          | 600          | /            | 300          |
|      | 3  | 500          | 500          | 500          | /            |

注:/ 代表没有数据

#### 1.4 牧草现存量 and 生长速率的测定

每个时期开始和结束前 3 d(即每月 12 日),在每个小区随机选取 6 个 1 m×0.25 m 的样方,齐地面刈割每个样方中的牧草,放入 65℃ 烘箱中烘 48 h 至恒重。称量每个样方牧草的重量,作为该时期放牧开始和放牧结束时的牧草现存量。

利用扣笼法测定每个时期牧草的生长量,牧草的生长速率则为每个时期牧草的生长量除以该时期的放牧天数。牧草生长量和生长速率用以下公式测定<sup>[20]</sup>:

牧草生长量[kg/(hm<sup>2</sup> · Period)]= $(b-a) \times (\lg c - \lg a) / (\lg b - \lg a) + (a-b)$

牧草生长速率[kg/(hm<sup>2</sup> · day)]= $\frac{\text{牧草生长量}}{30}$

式中, $b$  为某时期开始时的笼外现存量, $a$  为该时期结束后笼外现存量, $c$  为该时期结束后笼内现存量。

#### 1.5 可提供牧草营养品质的测定

在每个区组各选取 4 个小区,使每个区组中所选取的 4 小区包含所有的放牧处理,则每个处理有 3 次重复,研究了 12 个小区的可提供牧草营养品质。在每个时期的中期(即每月 1 日),在所选的小区中随机选取 6 个 1 m×0.25 m 的样方,齐地面刈割每个样方中的牧草,放入 65℃ 烘箱中烘 48 h 至恒重。将烘干的牧草分小区混合并粉碎,参照张丽英<sup>[21]</sup>的方法测定牧草中粗蛋白(CP),酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)含量,作为每个时期可提供牧草的各项营养品质指标。

#### 1.6 数据处理

将放牧处理、时期(对于现存量来说是取样日期)

和年份及其两者和三者的交互作用作为固定模型(Fixed Model),小区和区组作为随机模型(Random Model),利用 GenStat 12.0 软件中的混合线性模型(Linear Mixed Model)分析放牧处理、时期和年份及其交互作用对牧草生长速率、现存量及可提供牧草各项营养品质指标的影响。同时,利用最小显著差数法(LSD)进行多重比较;当差数的绝对值大于  $LSD_{0.05}$  时,表示差异显著( $P < 0.05$ );当差数的绝对值大于  $LSD_{0.01}$  时,表示差异极显著( $P < 0.01$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 牧草生长速率

在 2015 年的晚期, R3 的牧草生长速率显著( $P < 0.05$ )高于其他处理;在 2017 年的早期, R1 的牧草生

长速率显著( $P < 0.05$ )高于其他处理;在 2017 年的中期, R2 的牧草生长速率显著( $P < 0.05$ )高于 R1 和 R3,但与 CG 差异不显著( $P > 0.05$ )(图 2)。

年份间牧草生长速率差异极显著( $P < 0.01$ ),表现为 2015 和 2017 年牧草生长速率极显著( $P < 0.01$ )大于 2016 年;时期之间牧草生长速率差异极显著( $P < 0.01$ ),表现为早期牧草生长速率显著( $P < 0.05$ )大于中期,且两者显著( $P < 0.05$ )大于晚期。年份和时期的交互效应对牧草生长速率有极显著( $P < 0.01$ )影响;在 2015 年,早期和晚期牧草生长速率极显著( $P < 0.01$ )大于中期;在 2016 年,早期牧草生长速率极显著( $P < 0.01$ )大于中期和晚期;在 2017 年,中期牧草生长速率最大,早期次之( $P < 0.01$ ),晚期最低( $P < 0.01$ )(图 2)。

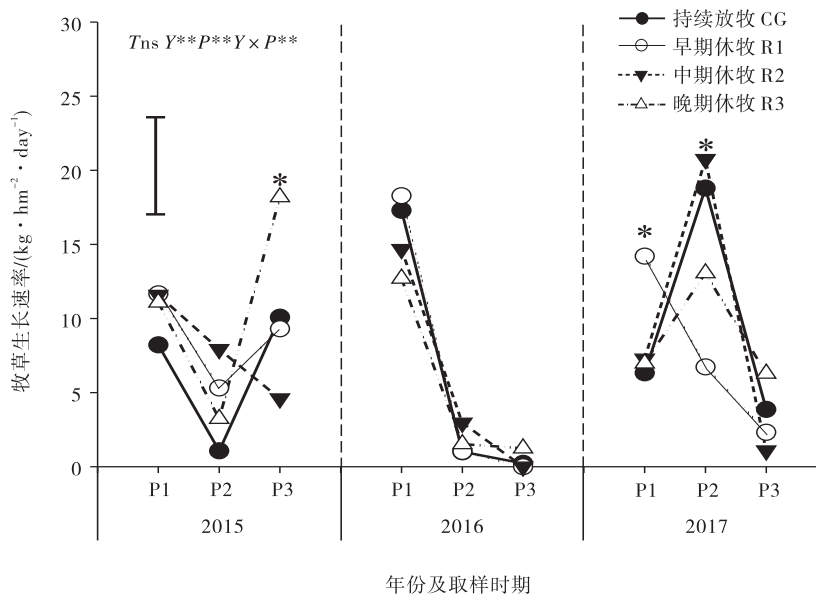


图 2 2015~2017 年休牧处理下各时期牧草生长速率

Fig. 2 Effects of rest grazing on pasture growth rate in each period from 2015 to 2017

注: T 表示放牧处理, P 表示时期, Y 表示年份,  $Y \times P$  表示年份和时期的交互作用; ns 表示在  $P < 0.05$  水平下差异不显著, \*\*表示在  $P < 0.01$  水平下差异显著, \* 表示在  $P < 0.05$  水平下差异显著;竖线的长度代表  $LSD_{0.05}$ ,下同

### 2.2 牧草现存量

放牧处理间牧草现存量表现为 R1 和 R2 的牧草现存量极显著( $P < 0.01$ )大于 CG 和 R3。在 2016 年和 2017 年的 7 月 15 日, R1 的牧草现存量均极显著( $P < 0.01$ )大于其他处理;在所有年份的 8 月 15 日, R2 的牧草现存量均显著( $P < 0.05$ )大于其他处理;在 2015 年和 2017 年的 9 月 15 日, R3 的牧草现存量均显著大于( $P < 0.05$ )其他处理。年份间牧草现存量差异极显著( $P < 0.01$ ),表现出从 2015 到 2017 年极显著降低( $P < 0.01$ )的趋势;取样日期间牧草的现存量同

样呈现出极显著( $P < 0.01$ )的差异,表现为: 7 月 15 日 > 6 月 15 日 > 8 月 15 日 > 9 月 15 日(图 3)。

### 2.3 放牧率

2015~2017 年 CG、R1、R2 和 R3 的放牧率分别为 6.90、6.79、6.53 和 6.06 羊单位/hm<sup>2</sup>, 平均值为 6.37 羊单位/hm<sup>2</sup>, 放牧率最高的 CG 比最低的 R3 高 0.84 羊单位/hm<sup>2</sup>。所有年份中, 在中期, R1 放牧率明显高于其他处理;在晚期, R2 放牧率明显高于其他处理。从 2015~2017 年, 每个处理的年平均放牧率都逐渐增加(表 3)。

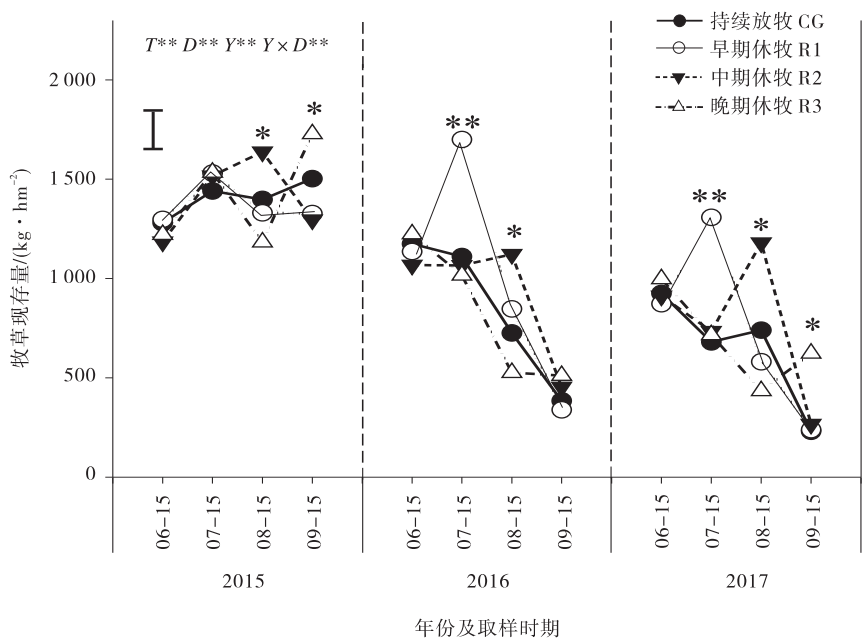


图 3 休牧处理下 2015~2017 年每个取样日期牧草现存量

Fig. 3 Effects of rest grazing on herbage standing crop on each sampling date from 2015 to 2017

注:D 表示取样日期,Y 表示年份,Y×D 表示年份和取样日期的交互作用

表 3 2015~2017 年的放牧率

Table 3 Stocking rate of grazing treatment in each period from 2015 to 2017

羊单位/hm<sup>2</sup>

| 年份        | 时期  | 放牧处理       |            |            |            |
|-----------|-----|------------|------------|------------|------------|
|           |     | 持续放牧(CG)   | 早期休牧(R1)   | 中期休牧(R2)   | 晚期休牧(R3)   |
| 2015      | 1   | 3.83±0.80  | /          | 2.70±0.38  | 3.12±0.54  |
|           | 2   | 3.39±0.73  | 7.62±0.11  | /          | 5.89±0.96  |
|           | 3   | 3.75±0.60  | 6.77±0.37  | 9.24±0.83  | /          |
|           | 1~3 | 3.66±0.18  | 4.80±0.11  | 3.98±0.16  | 3.00±0.18  |
| 2016      | 1   | 10.66±0.14 | /          | 11.20±0.20 | 12.44±0.15 |
|           | 2   | 7.33±0.23  | 16.21±0.25 | /          | 6.99±0.16  |
|           | 3   | 4.54±0.14  | 5.47±0.17  | 7.22±0.17  | /          |
|           | 1~3 | 7.51±0.10  | 7.23±0.13  | 6.14±0.09  | 6.48±0.10  |
| 2017      | 1   | 11.26±0.33 | /          | 10.87±0.11 | 12.23±0.21 |
|           | 2   | 6.16±0.18  | 18.35±0.22 | /          | 13.88±0.41 |
|           | 3   | 11.22±2.47 | 6.70±1.18  | 17.51±0.98 | /          |
|           | 1~3 | 9.54±0.87  | 8.35±0.44  | 9.46±0.31  | 8.70±0.15  |
| 2015~2017 |     | 6.90±0.30  | 6.79±0.18  | 6.53±0.07  | 6.06±0.02  |

注:/代表没有数据;“1~3”表示每年在放牧季的放牧率;“2015~2017”表示每个处理 3 年的平均放牧率

2.4 可提供牧草营养成分

在 2017 年的中期,R1 的可提供牧草 CP 含量显著( $P<0.05$ )小于其他处理;在所有年份的晚期,放牧处理对可提供牧草的 CP 含量均有显著( $P<0.05$ )影响,表现为 R3 的可提供牧草 CP 含量均高于其他处理。在 2016 年的中期,R3 可提供牧草 NDF 和 ADF 含量显著( $P<0.05$ )大于 R1,而与其他处理无显著差异( $P>0.05$ );在 2017 年的晚期,放牧处理对可提供

牧草的 NDF 和 ADF 含量均有显著( $P<0.05$ )影响,表现为 R3 的可提供牧草 NDF 和 ADF 含量显著( $P<0.05$ )低于 R1,且 R3 在数量上低于 CG 和 R2(表 4)。

年份对可提供牧草的各项营养品质均有极显著( $P<0.01$ )影响。具体来说,2017 年可提供牧草的 CP 含量最高,2015 年次之,2016 年最低,而可提供牧草的 NDF 和 ADF 含量正好与 CP 含量的变化趋势相反,即 2016 年可提供牧草的 NDF 和 ADF 含量最高,2015 年

表 4 2015~2017 年休牧处理下各时期可提供牧草的 CP,NDF 和 ADF 含量  
Figure 4 Effects of rest grazing on crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) concentration of herbage that offered in each period from 2015 to 2017

| 指标 <i>I</i> | 处理 <i>T</i> | 2015 |      |                    |      |      | 2016               |                   |      |      |                   | 2017               |      |      |      |       | <i>P</i> 值  |             |             |                              |
|-------------|-------------|------|------|--------------------|------|------|--------------------|-------------------|------|------|-------------------|--------------------|------|------|------|-------|-------------|-------------|-------------|------------------------------|
|             |             | P1   | P2   | P3                 | Mean | SEM  | P1                 | P2                | P3   | Mean | SEM               | P1                 | P2   | P3   | Mean | SEM   | 处理 <i>T</i> | 时期 <i>P</i> | 年份 <i>Y</i> | 年份×时期<br><i>Y</i> × <i>P</i> |
|             |             |      |      |                    |      |      |                    |                   |      |      |                   |                    |      |      |      |       |             |             |             |                              |
| CP/%        | CG          | 8.3  | 6.2  | 10.2 <sup>ab</sup> | 8.2  | 7.6  | 6.5                | 4.8 <sup>ab</sup> | 6.3  | 8.9  | 11.9 <sup>a</sup> | 12.6 <sup>b</sup>  | 11.1 | 8.5  | 0.47 | 0.055 | <0.001      | <0.001      | <0.001      | <0.001                       |
|             | R1          | 7.9  | 6.3  | 10.5 <sup>ab</sup> | 8.2  | 8.4  | 6.5                | 3.7 <sup>b</sup>  | 6.2  | 8.7  | 8.4 <sup>b</sup>  | 12.5 <sup>b</sup>  | 9.9  | 8.1  |      |       |             |             |             |                              |
|             | R2          | 8.9  | 6.7  | 9.2 <sup>b</sup>   | 8.3  | 7.9  | 7.4                | 5.2 <sup>ab</sup> | 6.8  | 8.9  | 11.9 <sup>a</sup> | 9.6 <sup>c</sup>   | 10.1 | 8.4  |      |       |             |             |             |                              |
|             | R3          | 8.4  | 5.9  | 11.6 <sup>a</sup>  | 8.6  | 7.4  | 5.9                | 5.5 <sup>a</sup>  | 6.3  | 8.1  | 10.5 <sup>a</sup> | 14.9 <sup>a</sup>  | 11.2 | 8.7  |      |       |             |             |             |                              |
| NDF/%       | CG          | 54.4 | 59.3 | 60.1               | 57.9 | 60.1 | 65.2 <sup>ab</sup> | 68.1              | 64.5 | 57.2 | 58.7              | 54.6 <sup>ab</sup> | 56.8 | 59.7 | 1.50 | 0.349 | <0.001      | <0.001      | <0.001      | <0.001                       |
|             | R1          | 58.4 | 58.1 | 59.3               | 58.6 | 57.1 | 61.6 <sup>b</sup>  | 68.9              | 62.5 | 55.9 | 58.7              | 56.8 <sup>a</sup>  | 57.1 | 59.4 |      |       |             |             |             |                              |
|             | R2          | 56.2 | 55.9 | 62.4               | 58.2 | 60.5 | 65.6 <sup>ab</sup> | 68.0              | 64.7 | 59.1 | 58.2              | 58.0 <sup>a</sup>  | 58.4 | 60.4 |      |       |             |             |             |                              |
|             | R3          | 57.2 | 59.8 | 60.6               | 59.2 | 60.6 | 66.8 <sup>a</sup>  | 67.5              | 65.0 | 59.2 | 59.6              | 51.9 <sup>b</sup>  | 56.9 | 60.4 |      |       |             |             |             |                              |
| ADF/%       | CG          | 29.3 | 31.9 | 32.0               | 31.1 | 31.1 | 33.8 <sup>ab</sup> | 36.6              | 33.8 | 28.6 | 30.2              | 27.8 <sup>ab</sup> | 28.9 | 31.3 | 0.71 | 0.691 | <0.001      | <0.001      | <0.001      | <0.001                       |
|             | R1          | 31.2 | 31.1 | 32.0               | 31.4 | 29.7 | 31.7 <sup>b</sup>  | 37.0              | 32.8 | 28.1 | 28.9              | 30.2 <sup>a</sup>  | 29.1 | 31.1 |      |       |             |             |             |                              |
|             | R2          | 30.1 | 30.2 | 33.1               | 31.1 | 31.3 | 33.6 <sup>ab</sup> | 36.3              | 33.7 | 29.5 | 29.0              | 29.5 <sup>ab</sup> | 29.3 | 31.4 |      |       |             |             |             |                              |
|             | R3          | 29.7 | 31.7 | 31.9               | 31.1 | 31.1 | 34.8 <sup>a</sup>  | 36.2              | 34.0 | 29.6 | 30.5              | 27.7 <sup>b</sup>  | 29.3 | 31.5 |      |       |             |             |             |                              |

注:P1,P2,P3 分别表示早期,中期和晚期;表中同列不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ );放牧处理详细信息参照表 1

次之,2017 年最低。年份和时期的交互作用对可提供牧草的各项营养品质均有极显著( $P<0.01$ )影响。对于可提供牧草的 CP 含量来说,在 2015 年,中期可提供牧草的 CP 含量最低,早期次之,晚期最高;在 2016 年,随放牧时期的延续,可提供牧草的 CP 含量极显著( $P<0.01$ )降低;而在 2017 年,随放牧时期的延续,可提供牧草的 CP 含量极显著( $P<0.01$ )升高。对于可提供牧草的 NDF 和 ADF 含量来说,在 2015 年,晚期可提供牧草的 NDF 和 ADF 含量极显著( $P<0.01$ )大于早期,但与中期无显著( $P>0.05$ )差异;在 2016 年,随放牧时期的延续,可提供牧草的 NDF 和 ADF 含量极显著( $P<0.01$ )升高;在 2017 年,晚期可提供牧草的 NDF 含量极显著( $P<0.01$ )低于中期,但与早期差异不显著( $P>0.05$ )(表 4)。

### 3 讨论

#### 3.1 牧后剩余量的设定

根据牧草现存量和所设定的牧后剩余量,同时参考放牧过程中的牧草生长速率来调控放牧率。与以往使用恒定的放牧率相比,这种放入—取出的放牧率调控技术有利于草地牧草的充分利用,尤其是在干旱时期,该技术可以通过降低该时期的放牧率而防止草地退化<sup>[22]</sup>。为了更好地达到这个目的,设定合适的牧后剩余量是进行放牧率调控的关键。呼伦贝尔地区以多年生禾草为优势种的草地,其生产力约为 2 000 ~ 3 000 kg/hm<sup>2</sup><sup>[23-24]</sup>,而适度的放牧应该使草地利用率维持在 30% ~ 50%<sup>[1]</sup>。以这些参数为参考,在 2015 年(开展放牧试验的第 1 年),研究设定 1 200 kg/hm<sup>2</sup> 为每个时期的牧后剩余量。但 2015 年放牧试验结束时,各处理放牧季的平均放牧率为 3.86 羊单位/hm<sup>2</sup>,这一放牧率为生产力相似(约 2 000 kg/hm<sup>2</sup>)的我国北方典型草原最适放牧率的 60% 左右<sup>[13]</sup>;另外,低放牧率导致牧后剩余量过高,草地立枯物增多,影响草地更新和牧草的分蘖;同时使牧草进入生殖生长期,引起草地老化、家畜的消化率下降,不利于家畜生产。另外,Zhang 等<sup>[13]</sup>和 Badgery<sup>[25]</sup>报道,在牧草现存量小于 500 kg/hm<sup>2</sup> 时,草地中的优势物种(羊草)的组分和家畜的有机质消化率随现存量的降低而快速下降,反之,草地中的优势物种(羊草)的组分和家畜的有机质消化率会维持在一个较高且稳定的水平。因此,利用以上研究得出的临界值,限定放牧结束时的剩余量为 500

kg/hm<sup>2</sup>。所以,从 2016 年开始,设定的牧后剩余量如表 2,且 R3 在中期设定的牧后剩余量为 300 kg/hm<sup>2</sup>,通过晚期的休牧使牧草得到生长,最终使 R3 在放牧季结束时(9 月 15 日)的剩余量也维持在 500 kg/hm<sup>2</sup> 左右。此外,在 2016 年早期结束(7 月 15 日),此时实际牧后剩余量为 1 000 kg/hm<sup>2</sup> 左右,发现优势种无芒雀麦已经进入抽穗期;因此,在 2017 年,为了避免无芒雀麦在早期进入抽穗期,将早期和中期所设定的牧后剩余量分别调低至 800 kg/hm<sup>2</sup> 和 600 kg/hm<sup>2</sup>。

#### 3.2 牧草生长速率,现存量和放牧率

放牧率受到牧草现存量和生长速率的调控,牧草现存量越大或牧草生长速率越高,则需提高放牧率,使放牧结束后的牧草现存量与设定的牧后剩余量相似。受牧草现存量和生长速率的影响,从 2015 ~ 2017 年,放牧率逐渐提高。对于重新调整牧后剩余量的 2016 年和 2017 年来说,在中期,R1 放牧前牧草现存量明显高于其他处理,因此,为了达到预定的牧后剩余量,R1 的放牧率高于其它处理。对于晚期来说,在生长速率较低的 2016 年,休牧没有大幅度提高 R2 的牧草现存量,因此,R2 的放牧率与其它处理相似;但在生长速率较高的 2017 年,休牧大幅度提高了 R2 的牧草现存量,因此,R2 的放牧率明显高于其他处理。在放牧率、牧草生长速率和牧草现存量的相互制约下,本研究发现,利用放入取出的放牧率调控技术没有大幅度改变处理间的放牧率。2015 ~ 2017 年各处理在放牧季的放牧率的平均值为 6.57 羊单位/hm<sup>2</sup>,该数值与生产力相似(约为 2 000 kg/hm<sup>2</sup>)的草地的最适放牧率(6.11 羊单位/hm<sup>2</sup>)相差不大,属于适度放牧<sup>[13]</sup>。

牧草的生长速率首先受到降水和温度的影响<sup>[26-27]</sup>。2015 ~ 2017 年,每年温度随月份(6 ~ 8 月)的变化趋势相似,都表现为 7 月最高;但降水量随月份的变化趋势在 3 年中差别很大,且发现牧草生长速率最高的时期基本为降水量最高的月份(图 1)。因此,相对于温度而言,降水量在放牧季内不均匀分布是导致放牧时期之间牧草生长速率变化的主要原因,降水对牧草的生长速率起决定性作用<sup>[28]</sup>。在相同时期,牧草生长速率随放牧率的增加而减小,尤其是在牧草生长速率较高时,休牧显著提高牧草生长速率(图 2)。因此,在生长速率较高的时期,休牧对牧草再生的促进作用更大<sup>[29]</sup>。该结果也说明,对以无芒雀麦和羊草为优势种的改良草地而言,植物对放牧敏感,表现为欠补

偿性生长或等补偿性生长<sup>[1]</sup>。这与 Zhang 等<sup>[13]</sup>和韩国栋等<sup>[30]</sup>的研究结果相似,但与戎郁萍和韩建国<sup>[20]</sup>的研究结果略有不同,这些研究充分说明了植物补偿性生长是一个一般的生态学过程,其具体表现形式与载畜量、降水量及草地植被类型紧密相关<sup>[30-31]</sup>。尽管植物对放牧敏感,但 2015~2017 年放牧率在各处理间差别不大,因此,放牧处理对牧草的生长速率没有显著影响。

休牧促进牧草积累,提高牧草现存量<sup>[29]</sup>。研究发现,牧草生长速率在早期和中期较高,因此,R1 和 R2 在休牧时期所积累的牧草要高于 R3。同时,R3 在中期的牧后剩余量较低,仅为 300 kg/hm<sup>2</sup>。因此,R1 和 R2 的牧草现存量显著大于 R3 和 CG。维持草地较高的现存量可以减少家畜因采食所行走的距离及其引起的能量消耗,使摄入的能量更多地用于增重<sup>[29,32]</sup>。因此,R1 和 R2 对提高家畜生产性能有潜在的重要作用。年份和时期及其交互作用对现存量影响显著,这是由所设定的牧后剩余量在年际间和放牧时期不同所导致的。

### 3.3 可提供牧草营养品质

在放牧系统中,放牧的时间,频率和强度都会影响草地植被的组成以及植物的形态、物候,从而对可提供牧草的营养品质产生影响<sup>[33]</sup>。年份,时期及其交互作用对可提供牧草的各项营养品质有极显著的影响,这与前人<sup>[34-35]</sup>的报道相似。一般来说,牧草被家畜采食后,叶茎比迅速下降。若此时牧草再生速率较低,则表现为放牧降低了可提供牧草的营养品质;若再生速率较高,放牧促进牧草的分蘖增加,从而使叶茎比升高,则表现为放牧提高了可提供牧草的营养品质。因此,可提供牧草的营养品质在生长速率较低的 2016 年显著低于生长速率较高的 2015 年和 2017 年。同时,在 2016 年,随放牧时期的延续,牧草生长速率降低,导致牧草的营养品质降低;而在中期生长速率最高的 2017 年,则表现为牧草的营养品质随放牧时期的延续而升高。以上结果说明,放牧季内降水的不均匀分布导致了牧草生长速率在放牧时期之间的差异,进而影响到可提供牧草的营养品质<sup>[36]</sup>。但在此次研究中,牧草的生长速率在各处理间差异不显著,这可能是造成休牧对可提供牧草的各项营养品质没有显著影响的主要原因。

尽管整个时期的可提供牧草的营养品质不受放牧

处理的影响,但对放牧家畜采食有直接作用的并不是所有时期的可提供牧草营养品质,而是处于放牧状态下的可提供牧草营养品质(比如,中期和晚期的可提供牧草营养品质对 R1 的绵羊采食起直接作用,而早期可提供牧草营养品质对 R1 的绵羊采食没有直接作用)。总体上来看,2015 年和 2016 年,各处理牧草营养成分随放牧时期的变化基本一致;在 2015 年,牧草 CP 含量在早期和晚期较高,而 R2 在中期休牧,在粗蛋白含量较高的早期和晚期放牧,因此,R2 的绵羊有较大的机会采食到粗蛋白含量较高的牧草;在 2016 年,随放牧时期的延续,NDF 和 ADF 含量逐渐增加,CP 含量逐渐降低,R3 在晚期休牧,在 NDF 和 ADF 含量较低而 CP 含量较高的早期和中期放牧,因此,R3 的绵羊有较大的机会采食到营养品质较高的牧草。另外,年际和时期的交互作用显著影响可提供牧草营养品质,因此,应根据牧草的生长速率,年际间灵活调控休牧时期,使家畜在可提供牧草营养品质较低的时期休牧,在可提供牧草营养品质较高的时期放牧,从而提高家畜采食到高营养品质牧草的机会。

## 4 结论

研究了生长季不同时期休牧对牧草生长速率,现存量和营养品质的影响。结果表明,早期休牧处理和中期休牧处理可保持较高的牧草现存量。降水在生长季内的不均匀分布导致了不同时期牧草生长速率的差异,这也导致了可提供牧草营养品质的变化。应根据牧草的生长速率,在年际间灵活调控休牧时期,使家畜在可提供牧草营养品质较低的时期休牧,在可提供牧草营养品质较高的时期放牧,从而提高家畜采食到高营养品质牧草的机会。

### 参考文献:

- [1] 张英俊. 草地与牧场管理学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2009: 178—209.
- [2] Kemp D R, Han G, Hou X, *et al.* Innovative grassland management systems for environmental and livelihood benefits[J]. Pnas, 2013, 110(21): 8369—8374.
- [3] Kemp D, Han G, Hou F, *et al.* Sustainable management of Chinese grasslands—issues and knowledge[J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2018, 5(1): 9—23.
- [4] O'Reagain P J, Turner J R. An evaluation of the empirical basis for grazing management recommendations for rangeland in southern Africa[J]. Journal of the Grassland Soci-

- ety of Southern Africa, 1992, 9(1): 38–49.
- [5] Danckwerts J E, O'Reagain P J, O'Connor T G. Range management in a changing environment; a southern African perspective[J]. *Australian Rangeland Journal*, 1993, 15(1): 133–144.
- [6] 闫宝龙, 吕世杰, 王舒新, 等. 放牧强度对无芒隐子草小尺度空间分布特征的影响[J]. *中国草地学报*, 2018, 40(4): 95–101.
- [7] 郭嘉华, 王立新, 张景慧, 等. 温带典型草原土壤理化性质及微生物量对放牧强度的响应[J]. *草地学报*, 2018, 26(4): 832–840.
- [8] 张鲜花, 朱进忠, 孙宗玖, 等. 放牧强度对草地牧草现存量及养分动态的影响[J]. *草业科学*, 2014, 31(1): 116–124.
- [9] 李文尧, 张岁歧, 杨刚, 等. 不同放牧强度对滩羊生产性能影响的研究[J]. *草业科学*, 2006, 23(1): 65–70.
- [10] 郑阳, 徐柱, 柳剑丽, 等. 放牧率对绵羊体重及繁殖性能的影响[J]. *草原与草坪*, 2010, 30(6): 26–30.
- [11] 郑阳, 徐柱, 锡林图雅, 等. 放牧强度对土-草-畜系统的影响研究进展[J]. *草原与草坪*, 2009(5): 72–76.
- [12] 林波, 谭支良, 汤少勋, 等. 草地生态系统载畜量与合理放牧率研究方法进展[J]. *草业科学*, 2008, 25(8): 91–99.
- [13] Zhang Y, Huang D, Badgery W B, *et al.* Corrigendum: Reduced grazing pressure delivers production and environmental benefits for the typical steppe of north China [J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 19388.
- [14] 陶金山. 不同休牧时期对羊草草原群落特征影响的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2009.
- [15] 李林栖, 马玉寿, 李世雄, 等. 返青期休牧对祁连山区中度退化草原化草甸草地的影响[J]. *草业科学*, 2017, 34(10): 2016–2023.
- [16] 马玉寿, 李世雄, 王彦龙, 等. 返青期休牧对退化高寒草甸植被的影响[J]. *草地学报*, 2017, 25(2): 290–295.
- [17] 朱立博, 曾昭海, 赵宝平, 等. 春季休牧对草地植被的影响[J]. *草地学报*, 2008, 16(3): 278–282.
- [18] 李青丰, 赵钢, 郑蒙安, 等. 春季休牧对草原和家畜生产力的影响[J]. *草地学报*, 2005, 13(S1): 53–56.
- [19] 阴倩怡, 高婷婷, 刘鸿芳, 等. 草地产草量快速调查技术[J]. *草业科学*, 2015, 32(3): 464–469.
- [20] 戎郁萍, 韩建国. 华北农牧交错带人工草地放牧系统植物补偿性生长研究[J]. *草地学报*, 2005, 13(S1): 62–66.
- [21] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 45–80, 131–138.
- [22] O'Reagain P J, Scanlan J C. Sustainable management for rangelands in a variable climate: evidence and insights from northern Australia[J]. *Animal*, 2012, 7(S1): 68–78.
- [23] 代景忠, 卫智军, 闫瑞瑞, 等. N、P 添加对羊草割草场土壤养分及地上生物量的影响[J]. *中国草地学报*, 2016, 38(2): 52–58.
- [24] 谭红妍, 闫瑞瑞, 闫玉春, 等. 不同放牧强度下温性草甸草原土壤生物性状及与地上植被的关系[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(23): 4658–4667.
- [25] Badgery W B. Longer rest periods for intensive rotational grazing limit diet quality of sheep without enhancing environmental benefits[J]. *African Journal of Range & Forage Science*, 2017, 34(2): 1–11.
- [26] 张彩琴, 杨持. 生长季内草原植物生长动态与气象因子的相关分析及其模拟研究[J]. *内蒙古农业大学学报(自然科学版)*, 2009, 30(1): 91–96.
- [27] 常骏, 王忠武, 李怡, 等. 内蒙古三种草地植物群落地上净初级生产力与水热条件的关系[J]. *内蒙古大学学报(自然科学版)*, 2010, 41(6): 689–694.
- [28] Bai Y, Han X, Wu J, *et al.* Ecosystem stability and compensatory effects in the Inner Mongolia grassland[J]. *Nature*, 2004, 431(7005): 181–184.
- [29] Wang C J, Tas B M, Glindemann T, *et al.* Rotational and continuous grazing of sheep in the Inner Mongolian steppe of China[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2009, 93(2): 245–252.
- [30] 韩国栋, 李博. 短花针茅草原放牧系统植物补偿性生长的研究: I. 植物净生长量[J]. *草地学报*, 1999, 7(1): 1–7.
- [31] Trlica M J, Rittenhouse L R. Grazing and plant performance[J]. *Ecological Applications*, 1993, 3(1): 21–23.
- [32] Lin L, Dickhoefer U, Katrin Müller, *et al.* Grazing behavior of sheep at different stocking rates in the Inner Mongolian steppe, China[J]. *Applied Animal Behaviour Science*, 2011, 129(1): 36–42.
- [33] Freer M, Dove H. *Sheep nutrition*[M]. Wallingford: CAB International, 2002: 1–26.
- [34] Ma L, Yuan F, Liang H, *et al.* The effects of grazing management strategies on the vegetation, diet quality, intake and performance of free grazing sheep[J]. *Livestock Science*, 2014, 161(3): 185–192.
- [35] Müller K, Dickhoefer U, Lin L, *et al.* Impact of grazing intensity on herbage quality, feed intake and live weight gain of sheep grazing on the steppe of Inner Mongolia

- [J]. The Journal of Agricultural Science, 2014, 152(1): 153—165.
- [36] Glindemann T, Wang C, Tas B M, *et al.* Impact of grazing intensity on herbage intake, composition, and digestibility and on live weight gain of sheep on the Inner Mongolian steppe[J]. Livestock Science, 2009, 124(1—3): 142—147.

# Effect of rest grazing on pasture growth rate, standing crop and herbage quality of meadow steppe improved with *Bromus inermis*

ZHANG Hao<sup>1</sup>, CAI Jin-hong<sup>2</sup>, LUO Jian-chuan<sup>3</sup>, YANG Gao-wen<sup>4</sup>, LIU Nan<sup>4</sup>, REN Hai-yan<sup>5</sup>, SHI Shang-li<sup>1</sup>, ZHANG Ying-jun<sup>1,4</sup>

(1. College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem, Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China; 2. College of Animal Science, Tibet Agriculture & Animal Husbandry University, Linzhi 860000, China; 3. School of Life Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China; 4. Key Laboratory of Grassland Management and Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs; College of Grassland Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 5. College of Agro-grassland Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** Rest grazing is an important grazing practice for improving the sustainable utilization of grassland. The impact of rest grazing on pasture growth rate, standing crop and herbage quality of meadow steppe improved with *Bromus inermis* was studied in Hulunbuir. By using "put and take stocking" method to regulate the stocking rate in experiment, the continuous grazing (control, CG) and 3 periodical rest grazing strategies, including rest grazing in early period (R1, no defoliation between 15th Jun. and 15th Jul. ), rest grazing in middle period (R2, no defoliation between 15th Jul. and 15th Aug. ) and rest grazing in late period (R3, no defoliation between 15th Aug. and 15th Sep. ), were designed to explore the best rest grazing practice that could improve the pasture growth rate, standing crop and herbage quality. The results showed that 1) Grazing treatment had no significant influence on pasture growth rate and herbage quality ( $P > 0.05$ ), but compared with CG, R1 and R2 could significantly increase standing crop ( $P < 0.01$ ); 2) Both pasture growth rate and herbage quality in 2016 were significantly ( $P < 0.01$ ) lower than those in 2015 and 2017; 3) Both pasture growth rate and herbage quality were significantly affected by the interaction of year and period ( $P < 0.01$ ) and the variation of herbage quality was mainly caused by the pasture growth rate in grazing period. R1 and R2 benefited the standing crop, but the pasture growth rate and herbage quality was not affected by rest grazing period.

**Key words:** rest grazing; herbage standing crop; pasture growth rate; herbage quality