

DOI: 10.5846/stxb201411232323

刘勇, 张雅雯, 南志标, 段廷玉. 天然草地管理措施对植物病害的影响研究进展. 生态学报, 2016, 36(14): - .

Liu Y, Zhang Y W, Nan Z B, Duan T Y. Progress of research into the effects of native grassland management practices on plant disease. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(14): - .

## 天然草地管理措施对植物病害的影响研究进展

刘勇, 张雅雯, 南志标\*, 段廷玉

草地农业生态系统国家重点实验室, 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730020

**摘要:**放牧、围封、刈割和焚烧是天然草地管理的最主要方式, 植物病害是草地生产力的主要限制因素之一, 综合考虑生态和经济效益, 探讨利用方式对天然草地植物病害的影响, 进而采取合理的管理措施, 有效降低草地病害危害、提高草地生产力和生态服务功能。本文综述了国内外截止 2014 年的文献, 分析了放牧、围封和焚烧等草原管理措施对植物病害的影响。放牧对草地植物病害的发生有双重影响, 对多数病害而言, 放牧可清除草地植被中的病株, 减少初侵染源而降低植物病害的发生; 但对物理传播的病害, 放牧通过家畜传播病原侵染植物, 导致病害大面积发生。刈割阻止真菌的进一步侵入与定殖, 从而减少草地病害的发生机会; 另一方面, 刈割形成有利于病原真菌孢子传播的条件, 病原真菌通过刈割工具传播到刈割造成的叶片伤口上, 为侵入植物体内提供了方便。草地围封增加了植物物种的多度同时降低植物多样性, 有利于病害发生。冬末春初植被返青前, 焚烧草地可清除枯枝落叶, 减少越冬的病原物, 降低病害的发生。同时对该领域的研究进行了展望, 对今后研究提出了建议。

**关键词:**利用方式; 天然草地; 病害

## Progress of research into the effects of native grassland management practices on plant disease

LIU Yong, ZHANG Yawen, NAN Zhibiao\*, DUAN Tingyu

State Key Laboratory of Grassland Agro-Ecosystems, College of Pastoral Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China

**Abstract:** Grazing, fencing, mowing and burning are the most frequently measures in native grassland management. Grassland plant disease is one of the main limiting factors of grassland productivity. Considering the ecological and economic benefits, analyze the effects of grassland use methods on native grassland plant disease, and then take reasonable management practices, to effectively reduce the loss caused by grassland plant diseases, therefore improve grassland productivity and function of ecological service. This paper reviews the research progress in China and abroad by 2014 on the livestock grazing, fencing, mowing and burning on the diseases of native grassland plants. Grazing has dual influence on the occurrence of grassland plant disease. It removed diseased plant by food intake, reduced the original source of infection and decreased the happen of most plant disease, but it spread plant pathogens by food intake as well and caused the epidemic of physical transported plant disease. Fencing increased plant disease occurrence by increasing plant species abundance and reducing plant diversities. Mowing can prevent further invasion and colonization of fungi, thereby reducing the occurrence of grassland diseases. However, mowing can also produce conditions conducive to the spread of pathogen spores, and pathogenic fungi can spread from cutting tool blades to the wounds created by mowing; these conditions also favor invasive plants. Burning in winter and early spring could remove litters and reduce over winter pathogens, therefore decrease the incidence of plant disease. Suggestions and prospects for study of grassland plant disease management were developed for

收稿日期: 2014-11-23; 网络出版日期: 2015-00-00

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhibiao@lzu.edu.cn

future research.

**Key Words:** utilization methods; native grassland; disease

全球草地资源由永久草地、疏林地和其它类型土地构成,面积约为  $3.42 \times 10^9 \text{ hm}^2$ , 约占陆地面积的 40%<sup>[1-2]</sup>。我国是一个草原大国,拥有各类天然草地达 3.93 亿  $\text{hm}^2$ ,居世界第二位,约占全球草地面积的 13%,占国土面积的 41.7%,是耕地面积的 3.2 倍,森林面积的 2.5 倍。在这辽阔的草地上,牧养着我国羊只的 80%,马匹的 50%和牛的 30%,提供了我国羊毛产量的 43.9%和牛奶产量的 25.6%。草地与土地、森林、海洋等一样,是重要的战略资源<sup>[3]</sup>。

天然草地是牧区最主要的自然资源和牧民群众赖以生存的生产资料和生活资料。然而,自上世纪 80 年代以来,由于连续性的气候干旱和牧区人口的增加,超载过牧、连年刈割等长期掠夺式的经营,不仅导致大气中  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{N}_2\text{O}$  等温室气体的变化,同时使原本脆弱的草地生态环境日趋恶化,草地植被覆盖率逐年下降,草场退化、沙化严重,湿地退减,遭受着前所未有的荒漠化侵害<sup>[4-5]</sup>。而草地病害已成为引起草地退化、影响草地健康、限制畜牧业发展的重要因素之一,其导致草地衰败、退化,缩短草地利用年限,改变草地植被组成,从而降低整个草地系统的产出与可持续性<sup>[6]</sup>。草地病害每年给畜牧业生产带来巨大的经济损失。许多资料表明,病害不仅造成牧草产量下降,而且使品质变劣。苜蓿霜霉病(*Peronospora aestivalis*)可使产草量下降 48.3%—50.3%<sup>[7-8]</sup>,并使营养成分降低<sup>[9]</sup>,黄花草木樨感染白粉病(*Erysiphe pisi*)后,粗蛋白含量下降 12%,粗纤维含量增加 26.77%<sup>[10]</sup>;早熟禾感染白粉病(*Blumeria graminis*)后产量下降 36.5%—42.3%<sup>[7]</sup>。目前我国尚未对全国范围内的牧草病害造成的损失做出准确的估算,但若以栽培草地每年因病害减产 10%计算,全国仅此一项每年导致的损失便高达 26 亿元人民币,天然草地每年因病害导致损失约为 5%,用于收种的草地每年损失更是高达 52%<sup>[11]</sup>。

放牧、围封、刈割和焚烧是天然草地的主要管理方式,草地利用方式或其他人为干扰会对草地植被与土壤微生物产生影响<sup>[12-14]</sup>,进而对草地病害产生不同的生态效应(图 1),探讨利用方式对草地病害的影响能为合理利用和管理草地提供科学依据,促使草地生态系统向健康有利的一面发展。

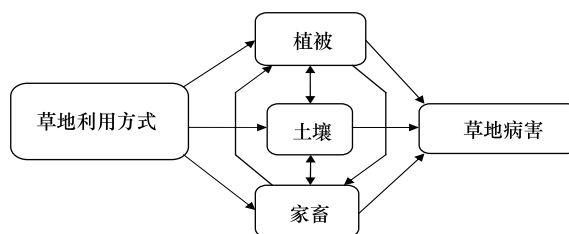


图 1 草地利用方式对草地病害的影响

Fig. 1 Effect of grassland different utilization methods on grassland diseases

## 1 放牧对草地病害的影响

家畜放牧对草地的作用方式包括采食、践踏和排泄物。植物病害系统由病原、寄主和环境三要素构成,即

在适宜发病的环境条件下,病原物侵染感病寄主,产生病害。草食动物是草地生态系统的重要组分,草食动物的采食对牧草病害有着重要的影响<sup>[15]</sup>。已有研究表明草食动物能够改变寄主-真菌病原之间的关系<sup>[16]</sup>,但结论不尽相同。就目前的研究现状来看,主要有两方面的结论:一是草食动物通过采食病株,清除了病原物,减少了初侵染源而控制植物病害的发生<sup>[15-18]</sup>;二是家畜采食造成植物伤口,有利于真菌通过伤口侵染寄主,导致病害大面积发生<sup>[19]</sup>。

总而言之,放牧家畜通过采食、践踏、排泄对草地植物和土壤造成干扰,即通过改变草地植物种群多样性、种的多度、土壤养分和土壤微生物而影响草地植物病害的发生(图 2):一方面清除病原物直接地控制病害或者造成植物伤口加重病害发生,另一方面也间接地通过改变草地土壤的营养元素和微生物量以及病原菌多样性来减轻或者加重病害的传播与发生。

### 1.1 放牧可有效控制草地植物病害

放牧可以有效控制草地植物病害。根据病害发生情况,合理安排放牧的时间和次数,能够有效控制病害

的发生<sup>[20]</sup>。第一,在病害严重的时候加大载畜量,从而清除病原体,减少侵染源<sup>[21]</sup>。对于草类作物的管理能对病害的发生水平产生很大影响而且还能够降低病害对寄主的不良影响<sup>[22]</sup>。澳大利亚学者 Barbetti 的研究表明,地三叶草(*Trifolium subterraneum*)是澳大利亚最主要的豆科牧草,北方炭疽病(*Kabatiella caulivora*)是该草的主要病害,适宜发病的环境下,其可使草地产草量降低 50%,放牧率降低 30%;在发病早期,将放牧率由 6 只羊/hm<sup>2</sup>提高至 10—12 只羊/hm<sup>2</sup>,使该病发病率降低了 20%—35%,成功的控制了病害的流行。第二,利用不同家畜的采食习性控制牧草病害,这是牧草病害防治中常用的方法<sup>[21]</sup>。Skipt & Lambert 研究羊和牛采食对白三叶草(*Trifolium repens*)数种叶部病害的影响,结果表明被羊群采食的草地,三叶草褐斑病(*Pseudopeziza trifolii*)和锈病(*Uromyces trifolii*)的发病率和严重度比较轻,牛采食的草地叶斑病(*Leptosphaerulina trifolii*)发病率和严重度较轻<sup>[15]</sup>。Gray & Koch 对苜蓿(*Medicago sativa*)黄萎病(*Verticillium albo-atrum*)的研究发现,在霜冻之后以放牧代替晚秋刈割能够减缓黄萎病的发病过程,延长寄主寿命,增加饲草的产量和质量<sup>[18]</sup>(表 1)。第三,家畜通过自身排泄改变土壤中的有效元素从而控制牧草病害。Chen xiaoyun 在研究磷肥受限的放牧草地中的微生物群落时发现,放牧增加土壤中的磷肥,降低真菌细菌比例,从而有效的控制部分土传真菌病害<sup>[23]</sup>。Markus Fischer 在研究草地利用强度对叶片真菌病害发病率时也得出类似的结论,未施肥和被遗弃未管理小区出现更多类型的真菌病原体,而施肥却可以降低病原菌多样性从而降低一些植物病害<sup>[24]</sup>。

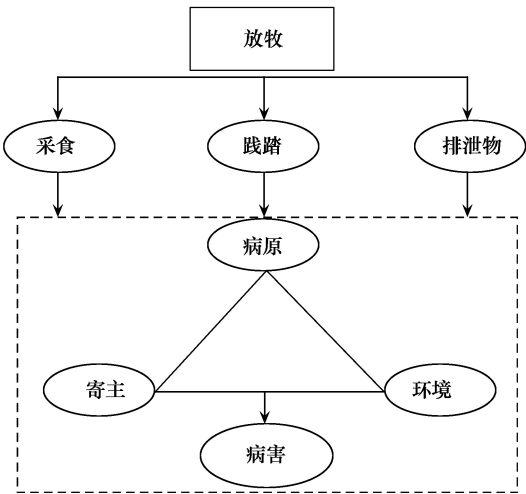


图 2 放牧对草地植物病害的影响  
Fig.2 Effects of grazing on diseases of grassland plants

表 1 不同放牧制度对草地病害产生的影响

| 放牧方式<br>Grazing method            | 病害<br>Disease | 防治效果<br>Control efficiency | 报道者<br>Reporter     |
|-----------------------------------|---------------|----------------------------|---------------------|
| 提高放牧率<br>Increase of grazing rate | 地三叶北方炭疽病      | 降低发病率 20%—35%              | Barbetti ,1996      |
| 羊轮牧<br>Sheep rotation grazing     | 三叶草褐斑病、锈病     | 严重度分别下降 72% 和 57%          | Skipt&Lambert, 1984 |
| 牛轮牧<br>Cattle rotation grazing    | 三叶草叶斑病        | 严重度下降 97%                  | Skipt&Lambert, 1984 |
| 霜冻后放牧<br>Grazing after the frost  | 苜蓿黄萎病         | 延缓发病,增加草产量                 | Gray , 2004         |

1.2 放牧可加重某些草地植物病害

放牧采食植物组织,因采食而造成的伤口易受病原菌的侵染,可能会增加寄主植物的死亡率<sup>[25]</sup>。Pedro (2009)等在盐碱沼泽系统中的研究发现,受到草食动物损伤的叶片病原真菌的侵染率高达 23%—36%,但家畜未采食的植物,基本无病原菌侵染<sup>[19]</sup>。Marianne Erneberg 研究半天然草地多年生黑麦草禾冠锈病指出,当土壤受到家畜等草食动物干扰时,多年生黑麦草禾冠锈病发病率随之升高<sup>[26]</sup>。同时,Alison G. Power 的研究发现放牧增加一年生禾草的丰富度从而加速其病害流行,加重该植物的病害<sup>[27]</sup>。草食动物对于植物的损害可能会使植物的抗性或耐受能力降低<sup>[28]</sup>。Clay 在 1986 年研究植物和真菌病害之间防御性的互利共生关系时发现,放牧会加重草地植物麦角病(*Clavicipitaceae sp.*)的发病率<sup>[29]</sup>。病原物 and 小型草食动物通常作用于同一寄主植物,二者之间的相互作用对双方影响寄主的能力产生抑制或加强的作用<sup>[30-31]</sup>。病原物通过影响植

物的营养质量来减少草食动物的采食<sup>[32]</sup>。反过来,草食动物刺激植物产生对病原菌侵染的抗性,减少病原侵染<sup>[33]</sup>。除了能够相互抑制对方对寄主植物的侵害,而且也能加强各自对寄主的影响<sup>[19]</sup>。例如,在盐碱沼泽系统中遭受真菌侵染植物的组织通常会作为吸引和加强采食的目标<sup>[30]</sup>,同时草食动物采食寄主造成的伤口有利于病原菌侵染。在陆地生态系统中,草食动物能够通过植物之间传播病害、培养病原体来助于病原真菌侵染<sup>[33-34]</sup>,或者通过机械伤害植物保护屏障来助于病原侵染植物组织<sup>[35]</sup>。

另外,放牧改变草地土壤中 N、P、K 营养元素<sup>[36-37]</sup>,从而影响植物病害。Lovett G. M. 研究指出,放牧家畜通过排泄使 N 沉降导致植物多样性降低从而加重植物病害; Dobrindt L. 在试验研究中发现,病害发病率较高的草地其具有较高的 K 含量。

## 2 围封对草地病害的影响

围栏封育主要是通过人为降低或排除家畜对草地生态系统的影响,使系统在自身弹性下得以恢复和重建<sup>[38-39]</sup>。它是人类有意识地调节草地生态系统中草食动物与植物关系以及管理草地的有效手段之一<sup>[40]</sup>。目前,大多研究表明围封可加重草地植物病害发病率,主要因为其增加了同一物种的多度,导致植物多样性减少,创造了植物病害发生的条件。

总而言之,围封一方面造成单一植物的丰富度、多度和密度增加,植物多样性减少,从而病原真菌群落多样性减少,单一物种某种病害发病率提高;另一方面增加病原侵染的叶面积,促进病原体的传播、入侵、生长和繁殖,从而加重植物病害的发生。因此,当围封增加草地植物物种多样性时,可能会降低草地植物病害的发生,当围封降低草地植物物种多样性时,可能会增加草地植物病害的发生;围封后地表积累较多的凋落物,草地枯草层加厚,养分增加、草地通透不良,创造了有利草地植物病害发生的微环境,从而对病害形成影响。

### 2.1 围封增加植物多度从而加重草地植物病害

Ericson & Wenström (1997) 在研究七瓣莲 (*Trifolium europaeum*) 黑粉病 (*Urocystis tritralis*) 两年的过程中发现,草地围封后,七瓣莲 (*Trifolium europaeum*) 盖度和多度显著高于未围封草地,同时七瓣莲黑粉病 (*Urocystis tritralis*) 夏孢子和冬孢子数量显著高于放牧处理<sup>[41]</sup> (图 3)。围封地内寄主因真菌侵染导致的寄主死亡率比对照试验地高 36%。

Wennström 和 Ericson (1991) 比较了放牧和围封条件下草原白头翁 (*Pulsatilla pratensis*) 锈病 (*Puccinia pulsatillae*) 发病率,发现放牧条件下,草原白头翁锈病的发病率仅为 3% 左右,但草地围封后,草原白头翁锈病发病率高达 50% 左右<sup>[16]</sup>。

Michael (1991) 对红三叶 (*Trifolium pratense*) 锈病 (*Uromyces trifolii*) 的研究发现,围栏禁牧使得单孢锈菌侵染红三叶的侵染率显著高于家畜放牧的草地<sup>[42]</sup> (图 4)。

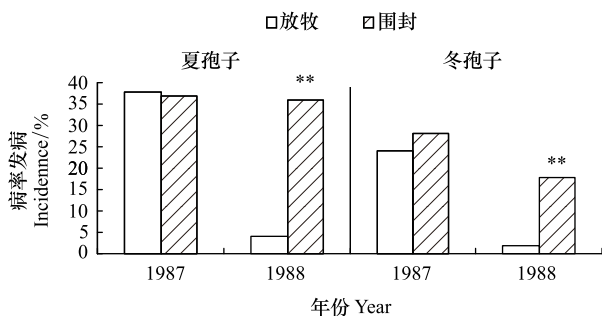


图 3 1987—1988 年草地围封后七瓣莲黑粉病发病率<sup>[41]</sup> ( \*\*  $p < 0.01$  )

Fig.3 Incidence of *Urocystis tritralis* on the host plant *Trifolium europaeum* in controls and exclosures during 1987—1988. Significance level is denoted with ( \*\*  $p < 0.01$  )

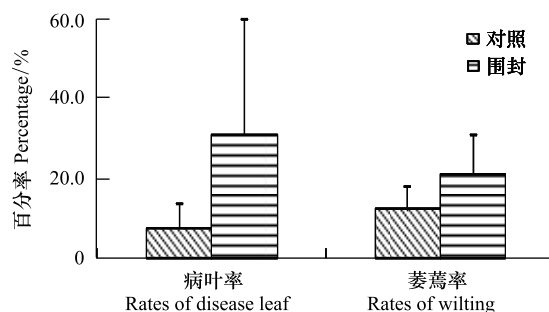


图 4 围栏封育和对照处理的红三叶锈病病叶率和萎蔫率<sup>[42]</sup>

Fig.4 Red clover rust's rates of disease leaf and wilting in fence and control treatments

图中 I 代表标准差 (Standard Deviation)

对于任何一种植物而言,其叶片真菌病害发病率水平与该种植物丰富度呈负相关,且病害严重度强烈依赖于该种植物的密度而与丰富度无关<sup>[43]</sup>。Finch D.D.and H.M.Alexander 研究得出,围封造成草地植物锈病发病率显著增加<sup>[44]</sup>。与此相反,当植物多样性增加时,病原真菌多样性增加,但单一植物病原真菌的侵染率却降低<sup>[45]</sup>。围封增加了优势植物种的多度<sup>[46]</sup>,而同一物种多度的增加和群落物种多样性的减少有利于真菌病害的传播<sup>[47-49]</sup>,从而加重草地植物病害发生。

## 2.2 围封降低物种多样性从而加重草地植物病害

研究发现:植物种群遗传多样性越丰富,物种丰富度越高,则为病害发生和流行设置了障碍,极大地减轻了病害的发生,研究发现植物多样性可以通过培养有益的细菌群落增加植物群落对病原菌的抗性从而降低植物病害的发生<sup>[50]</sup>;反之,当植物多样性降低时,病原菌导致的病害严重度随之增加<sup>[51-55]</sup>。Charles 在研究植物多样性与叶片真菌病害时发现,植物多样性降低,病原菌侵染叶面积增大,促进病原体的传播与入侵,增加单一物种病害的发生,同时 CO<sub>2</sub> 和 N 的升高也会促进病原真菌的侵染和繁殖<sup>[49]</sup>。陈秀蓉在调查甘肃环县天然草地病害时发现,放牧显著影响草地植物多样性,且物种多样性和病害密切相关<sup>[54]</sup>。植物混生地段,病害发生均相对较轻,而在牧草种类单一的小生境中病害发生较重。如在单一赖草群落中,赖草茎黑粉病 (*Ustilago hypodytes*) 发病率达 63%,混合群落中仅为 3%,同样在单一白草群落小生境中,白草黑痣病 (*Phyllochora graminis*) 病情指数为 45,而在白草与其他几种牧草混生地段,病情指数仅为 9.4。南志标在研究混播治理牧草病害时发现,不同种或不同品种的牧草混合播种可显著地减轻或防止牧草病害的发生和发展<sup>[56]</sup>。红豆草 (*Onobrychidis sativa*)、苜蓿混播或分别与无芒雀麦混播,可显著降低苜蓿褐斑病 (*Pseudopeziza Medicaginis*),壳二孢黑茎病 (*Ascochyta sp.*),红豆草葡柄霉叶斑病 (*Stemphylium sarciniiforme*),壳二孢茎斑病 (*Ascochyta onobrychidis*) 等病害的发病率及病情指数。Charles 在人工模拟草原植物种类丰富度和植物病害发生关系的试验中发现,在发现的 11 种草地植物病害中,10 种病害的严重度与植物多样性呈负相关,而与寄主的多度呈正相关<sup>[53]</sup>。

## 3 刈割对草地病害的影响

刈割对草地病害的影响具有双重性:一方面,适宜的刈割可阻止真菌的进一步侵入与定殖,从而减少病害的发生机会,如 Markus Fischer (2012) 研究表明,刈割降低草食动物多样性,移除寄主植物和病原体,草地病害随之减少<sup>[24]</sup>;另一方面,刈割可形成有利于病原真菌孢子传播的条件,病原真菌通过刈割工具传播到刈割造成的叶片伤口上,为侵入植物体内提供了方便<sup>[6]</sup>,如 Milan Kobes *et al.* 研究发现,未刈割小区山黧豆白粉病发病率低于刈割小区,植株表现得更为健康<sup>[57]</sup>。

一般认为,提前刈割可有效地延缓病害病情的发展,降低病害发生及牧草产量损失<sup>[58]</sup>。如侯天爵等在研究苜蓿锈病危害及防治时发现,6 月中旬刈割后刈割小区再生草病叶率为 10%,病情指数为 3.5,而未刈割的对照小区病叶率为 33%,病情指数为 12.3,防病效果达 70%<sup>[59]</sup>。Pratt 研究了刈割对绛三叶草 (*Trifolium incarnatum*) 冠/茎腐病 (*Sclerotinia trifoliorum*) 的影响,结果表明,无论是在较高还是较低发病条件下,刈割均可降低病害的发生,尤其是上年 11 月份刈割,显著降低了绛三叶草冠腐病和茎腐病在翌年的发生<sup>[60]</sup>(表 2)。

另有试验获得了相反结果,如史娟等的研究发现刈割时间早,则第 2 茬苜蓿发病重,第 2 茬苜蓿及时刈割则可明显减缓第 3 茬苜蓿的发病程度<sup>[61]</sup>(表 3)。可见适宜的刈割时期能增强草地植物抗病害的能力,刈割过早或过晚都可能加重某些病害。

另外,移去刈割物可减少病原真菌积累的机会,从而降低发生病害的可能性。但移去刈割物的同时也移去了大量的氮素等养分,造成草坪肥力降低,容易发生低肥力病害<sup>[6]</sup>。Spyreas *et al.* 研究发现,刈割降低土壤水分导致内生真菌在干旱胁迫下增加竞争力从而入侵禾草,最终致使刈割小区顶孢霉病害发病率升高<sup>[62]</sup>。Garcia Parisi P.A. 利用刈割模拟放牧研究其对真菌垂直传播影响时得出,刈割降低病原菌的垂直传播,从而降低病害发生<sup>[63]</sup>。而 Dobrindt L.*et al.* 在研究影响内生真菌影响因子时却发现,刈割和未刈割小区病害发病率

并没有显著性差异<sup>[37]</sup>,与此类似的研究 Williams 等试验表明,刈割物是否移去对翦股颖币斑病( *Lanzia moellerodis-cus*) 的严重程度无显著影响,而一天当中不同的时间刈割影响该病的发生<sup>[64]</sup>。

表 2 不同发病条件下刈割时间对绛三叶草冠腐病、茎腐病严重度和地上生物量的影响<sup>[60]</sup>

Table 2 Mean severity of Sclerotinia crown and stem rot and mean dry matter yields of crimson clover following application of foliar clipping treatments at two levels of disease intensity during four growing seasons

| 处理<br>Treatments                                                                              | 低发病率草地<br>Low disease intensity |                      | 高发病率草地<br>High disease intensity |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------|
|                                                                                               | 严重度/%<br>Disease severity       | 干草产量/g<br>Dry matter | 严重度/%<br>Disease severity        | 干草产量/g<br>Dry matter |
|                                                                                               |                                 |                      |                                  |                      |
| 对照 No clipping                                                                                | 51.5±10.5                       | 317.8±75.3           | 63.8±8.8                         | 240.0±57.7           |
| 上年 11 月刈割<br>Clipped in November of preceding year                                            | 14.0±5.0                        | 349.3±73.4           | 37.5±7.2                         | 292.3±55.0           |
| 当年 1 月份刈割<br>Clipped in January of indicated year                                             | 44.3±17.0                       | 263.8±81.3           | 60.5±16.3                        | 202.5±65.4           |
| 上年 11 月刈割+当年 2 月刈割<br>Clipped in November of preceding year and<br>February of indicated year | 24.0±13.7                       | 310.0±54.7           | 35.8±19.1                        | 265.0±73.5           |

表 3 刈割对苜蓿褐斑病抗性的影响<sup>[61]</sup>

Table 3 The influence of mowing on alfalfa leaf spot's resistance

| 品种<br>Variety              | 病情指数 Disease index/%       |                  |                             |                  |                            |                  |
|----------------------------|----------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
|                            | 第 1 茬<br>The first stubble |                  | 第 2 茬<br>The second stubble |                  | 第 3 茬<br>The third stubble |                  |
|                            | 刈割<br>Mowing               | 不刈割<br>No mowing | 刈割<br>Mowing                | 不刈割<br>No mowing | 刈割<br>Mowing               | 不刈割<br>No mowing |
|                            |                            |                  |                             |                  |                            |                  |
| 固原苜蓿 <i>Guyuan alfalfa</i> | 0.56                       | 5.63             | 20.32                       | 38.41            | 10.51                      | 46.21            |
| 阿尔金刚 A er jin gang         | 1.08                       | 10.74            | 25.46                       | 58.91            | 16.08                      | 66.20            |

总而言之,刈割对草地病害的影响与放牧对草地病害影响相类似,既可以有效的控制病害的发生,即刈割清除了部分病原体,减少初侵染源,缩短寄主植物生长期,进而减少了被感染的机会;同时也有可能加重病害的发生,即刈割改变寄主和病原体相互作用的生态环境,改变微生物多样性,从植物病害的角度来说,土壤生态环境的恶化、土壤微生物区系的破坏,均为植物病害的发生提供较为有利的条件。除此之外,适宜的刈割时期也是减少草地病害发生的关键,刈割过早或过晚均可能导致草地病害加重。

4 焚烧对草地病害的影响

目前,大多数研究表明焚烧是改良草地和防治病害的有效措施。焚烧之所以能改良草地,一般认为主要是清除了不适于牲畜采食的枯枝干叶和残茬,并破坏草皮的板结状态,加强空气,水分和热对土壤的通透,改良了土壤的物理状态<sup>[65]</sup>。同时,使固定在有机物中的氮、钙、磷钾和其他矿质元素被释出,加速了物质的再循环,从而提高了牧草的产量和品质,如 Niboyet A. *et al.*在火烧小区发现 N<sub>2</sub>O 排放量增加,植物对 C 的利用增加,病害减少,牧草产量和品质随之提高。焚烧牧草残茬,减轻病害的原理是减少新的生长季中的初侵染源<sup>[66]</sup>。Roy B.A. *et al.*通过火烧草原有效的降低了病原物的侵染,促进了当地牧草的生长<sup>[67]</sup>。南志标在甘肃山丹军马场工作期间,每年早春牧草返青前,均对残茬焚烧,不仅减轻了病虫害的危害,而且加速牧草春季生长,提高牧草产量<sup>[11]</sup>。翟桂玉(2002)在多年生黑麦草地里进行焚烧残枝落叶,有效地预防和控制了线虫病、麦角病、瞎籽病和多种叶斑病,而且提高了牧草种子和草的产量<sup>[68]</sup>。在加拿大,曾用焚烧成功地控制了黑茎病以及蚜虫的危害,焚烧亦是消灭菟丝子危害的有效措施<sup>[69]</sup>。

美国自 1948 年以来,将焚烧牧草残茬及脱粒后的干草,作为西部地区牧草种子生产的必要管理措施之一,有效地控制了多种牧草病害的流行,促进了美国的牧草种子业<sup>[70]</sup>。澳大利亚对柱花草草地进行焚烧,明

显推迟了幼苗炭疽病的发病期<sup>[71]</sup>,并使柱花草炭疽病的成株发病率降低 60%—78%<sup>[71-72]</sup>。另有研究表明,焚烧减少了土壤微生物数量(表 4),从而降低了土传病害的发生<sup>[73]</sup>。与此相反,也有研究表明火烧或者氮肥的施加显著增加当地草地植物锈病发病率,而外来入侵植物却几乎没有锈病的发生<sup>[74]</sup>。

表 4 焚烧前后微生物数量变化<sup>[74]</sup>

Table 4 The change of microorganism quantity before and after burning

| 土层深度/cm<br>Soil depth | 细菌( $\times 10^6$ )<br>Bacteria |                    | 放线菌( $\times 10^5$ )<br>Actinomycetes |                    | 真菌( $\times 10^5$ )<br>Fungus |                    |
|-----------------------|---------------------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------------------|
|                       | 对照<br>Control                   | 焚烧<br>Incineration | 对照<br>Control                         | 焚烧<br>Incineration | 对照<br>Control                 | 焚烧<br>Incineration |
| 0—2                   | 1.52 $\pm$ 0.11A                | 0.29 $\pm$ 0.09B   | 2.90 $\pm$ 0.19A                      | 0.58 $\pm$ 0.09B   | 0.60 $\pm$ 0.11A              | 0.11 $\pm$ 0.03B   |
| 2—5                   | 1.63 $\pm$ 0.13A                | 0.77 $\pm$ 0.10B   | 3.38 $\pm$ 0.19A                      | 1.93 $\pm$ 0.10B   | 0.66 $\pm$ 0.09A              | 0.31 $\pm$ 0.06B   |
| 5—13                  | 2.40 $\pm$ 0.19a                | 2.39 $\pm$ 0.18a   | 4.89 $\pm$ 0.20a                      | 4.89 $\pm$ 0.23a   | 0.73 $\pm$ 0.07a              | 0.73 $\pm$ 0.06a   |
| 13—20                 | 1.87 $\pm$ 0.15a                | 1.87 $\pm$ 0.13a   | 4.02 $\pm$ 0.19a                      | 4.02 $\pm$ 3.52a   | 0.60 $\pm$ 0.05a              | 0.60 $\pm$ 0.05a   |

## 5 展望

关于牧草、大型草食动物、微生物与环境 and 人类活动构成的错综复杂的关系,可概括为三个主要界面<sup>[75]</sup>。植物病原微生物是一类特殊的类群,在其生活周期中,既有分解者的功能,又有消费者的作用,国内外对其在草地生态系统中的作用给予了足够的重视,植物病理学家们对病原微生物引致的牧草病害亦开展了一些研究<sup>[76]</sup>。病原微生物不仅引起植物病害,降低牧草的产量和品质,亦使发病植物在竞争中处于不利地位,从而改变草地生态系统的生物多样性,同时,其可产生引致家畜生产力和繁殖力降低的物质。但国内外目前从生态系统的尺度对植物病原微生物似乎关注不多。植物病原微生物-牧草-家畜在在草地生态系统中的互作,以往研究也不多。人类通过家畜和自身行为对草地生态系统的干扰,对于防治草地病害具有重要的理论意义和应用价值,应是今后加强研究的领域之一。

草地病害的综合防治包括抗病品种的合理利用和对草地的科学管理,并辅之以杀菌剂拌种和生物防治等措施,将病害控制在经济阈值以下,以达到提高草地农业生态系统整体生产力和稳定性的目的<sup>[11]</sup>。病害的防治离不开科学合理的草地管理,草地病害防治更多的被解释为病害管理,即通过人对植物的管理,把病害的损失控制在最低限度<sup>[77]</sup>。对于天然草地而言,综合考虑生态和经济效益,病害的防治应重点在于通过科学合理的管理措施达到控制病害的目的。随着全世界环保意识的提高,人们对于用物理方法或者科学管理的方式来代替化学方法以控制植物病害的研究越来越感兴趣<sup>[78-79]</sup>。

放牧、围封、刈割和焚烧是天然草地的主要管理及利用方式,其在维护草地健康、提高草地生态系统的稳定性起着重要的作用<sup>[15,40,80-81]</sup>。草地管理和利用方式的改变,必将导致植物、病原和环境组成的病害三角关系在特定条件下的变化,从而影响植物病害的发生。草地的合理管理和利用对于防治草地病害有很重要的作用,明确草地病害的发生特点和流行规律,从病害发生的薄弱环节着手防治是我们的首要任务<sup>[82]</sup>。理解草地病害发生与发展的作用和机理,关注生物多样性与病害发生的关系,实现放牧-围封-刈割-焚烧-病害管理-草地资源可持续利用的统一,维护草地的健康,是我们面临的挑战之一。同时,放牧、围封、刈割和焚烧均不同程度地改变了草地生态环境,主要包括植物多样性、物种多度、土壤养分(氮、磷、钾等)、土壤微生物,从而改变了草地植物病害的发生,国内外目前对于“植物多样性-病害”、“土壤养分-病害”、“土壤微生物-病害”这三者两两之间关系及相互之间互作的研究并不多,这也是我们今后应更加关注的一方面。同时,植物病原微生物-牧草-家畜在在草地生态系统中的互作研究,因其中增加了家畜这一成分,研究费用大,难控制,故以往研究不多,应是今后加强研究的领域之一。随着国家退牧还草和对全国牧区优惠补贴政策力度的加大和实施,必将促进全国天然草地的围封、改良和牧草种植面积的增加,鉴于放牧、围封、刈割和焚烧的不同作用,应考虑在天然草地适度放牧和利用,系统地研究草地病害流行学与生态学之间的关系,通过科学合理的管理和利用措施,

建立草地病害综合防治体系,对于有效防范和降低草地病害危害、保护草原生态安全、促进畜牧业的发展具有重要意义。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Richard T Conant, Keith Paustian. Potential soil carbon sequestration in overgrazed grassland ecosystems. *Global Biogeochemical Cycles*, 2002, 16 (4): 1143-1151.
- [ 2 ] Daniel R LeCain, Jack A Morgan, Gerald E Schuman, Jean D Reeder, Richard H Hart. Carbon exchange and species composition of grazed pastures and exclosures in the shortgrass steppe of Colorado. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2002, 93(1/3): 421-435.
- [ 3 ] 韩建国. 草地学(第三版). 北京: 中国农业出版社, 2007: 2-5.
- [ 4 ] Zhou Z, Sun O J, Huang J, Gao Y, Han X. Land use affects the relationship between species diversity and productivity at the local scale in a semi-arid steppe ecosystem. *Functional Ecology*, 2006, 20(5): 753-762.
- [ 5 ] 郑晓翔, 赵家明, 张玉刚, 吴雅琼, 靳甜甜, 刘国华. 呼伦贝尔草原生物量变化及其与环境因子的关系. *生态学杂志*, 2007, 26(4): 533-538.
- [ 6 ] 南志标, 李春杰, 白原生. 我国草类作物病害及其防治对策 // 南志标, 李春杰. 中国草类作物病理学研究. 北京: 海洋出版社, 2003: 3-10.
- [ 7 ] 刘若. 天祝高山草原培育对天然草地植物病害流行动态的影响. *甘肃农业大学学报*, 1978, (2): 58-63.
- [ 8 ] 南志标, 员宝华. 新疆阿勒泰地区苜蓿病害. *草业科学*, 1994, 11(4): 14-18.
- [ 9 ] 邹胜文, 马振宇. 侯天爵. 霜霉病对苜蓿地上部分发育及营养成分含量的影响. *草与畜杂志*, 1989, (增刊): 45-48.
- [ 10 ] 南志标. 霉白粉菌对草木樨营养成分影响的测定. *甘肃畜牧兽医*, 1988, (1): 1-2.
- [ 11 ] 南志标. 建立中国的牧草病害可持续管理体系. *草业学报*, 2000, 9(2): 1-9.
- [ 12 ] Chakraborty S. Grassland plant diseases: management and control. Sao Pedro, Brazil: 19th International Grassland Congress, 2001.
- [ 13 ] 乔鹏云. 放牧对陇东半干旱草地土壤微生物的影响[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- [ 14 ] 邹雨坤. 羊草草原利用方式对土壤微生物多样性及群落结构的影响[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2011.
- [ 15 ] Skipp R A, Lambert M G. Damage to white clover foliage in grazed pastures caused by fungi and other organisms. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1984, 27(3): 313-320.
- [ 16 ] Anders Wennstorm, Lars Ericson. Variation in disease incidence in grazed and ungrazed sites for the system *Pulsatilla pratensis*-*Puccinia pulsatillae*. *Oikos*, 1991, 60: 35-39.
- [ 17 ] Barbeti M J. The successful control of clover scorch disease (*Kabatiella caulivora*) in Australian subterranean clover pastures // Chakraborty S, Leath K J, Skipp R A, eds. *Pasture and Forage Crops Pathology*. ASA, CSSA, SSSA, Madison, USA, 1996: 589-601.
- [ 18 ] Gray F A, Koch D W. Influence of late season harvesting, fall grazing, and fungicide treatment on *Verticillium* wilt incidence, plant density, and forage yield of alfalfa. *Plant Disease*, 2004, 88(8): 811-816.
- [ 19 ] Pedro Daleo, Brian Silliman, Juan Alberti, Mauricio Escapa, Alejandro Canepuccia, Nora Peña, Oscar Iribarne. Grazer facilitation of fungal infection and the control of plant growth in south-western Atlantic salt marshes. *Journal of Ecology*, 2009, 97(4): 781-787.
- [ 20 ] 周玉峰. 贵州牧草病害及其防治 // 南志标, 李春杰. 中国草类作物病理学研究. 北京: 海洋出版社, 2003: 49-54.
- [ 21 ] 朱廷恒, 南志标. 牧草及草坪草病害的生物防治 // 南志标, 李春杰. 中国草类作物病理学研究. 北京: 海洋出版社, 2003: 189-198.
- [ 22 ] Lewis G C, Hopkins A. Weeds, pests and disease of grassland // Alan H, ed. *Grass Its Production & Utilization*. Oxford: Blackwell Science, 2000: 119-133.
- [ 23 ] Chen X Y, Tim J Daniell, Roy Neilson, Vincent O'Flaherty, Bryan S Griffiths. Microbial and microfaunal communities in phosphorus limited, grazed grassland change composition but maintain homeostatic nutrient stoichiometry. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 75: 94-101.
- [ 24 ] Markus Fischer, Anne Weyand, Katrin Rudmann-Maurer, Jürg Stöcklin. Omnipresence of leaf herbivory by invertebrates and leaf infection by fungal pathogens in agriculturally used grasslands of the Swiss Alps, but low plant damage. *Alpine Botany*, 2012, 122(2): 95-107.
- [ 25 ] Crawley M J. Herbivory [A]. In: *Animal-plant Interactions*[M]. Blackwell Scientific Publications, 1983: 98-120.
- [ 26 ] Marianne Erneberg, Beate Strandberg, Morten Strandberg, Brita Dahl Jensen, Jacob Weiner. Effects of soil disturbance and disease on the growth and reproduction of *Lolium perenne* (*poaceae*) introduced to semi-natural grasslands. *Polish Journal of Ecology*, 2008, 56(4): 593-604.
- [ 27 ] Alison G Power, Elizabeth T Borer, Parvize Hosseini, Charles E Mitchell, Eric W Seabloom. The community ecology of *barley/cereal yellow dwarf viruses* in Western US grasslands. *Virus Research*, 2011, 159(2): 95-100.
- [ 28 ] Heli Nykänen, Julia Korechiva. Damage-induced changes in woody plants and their effects on insect herbivore performance: a meta-analysis. *Oikos*, 2004, 104(2): 247-268.

- [29] Clay K. Grass endophytes // Fokkema N J, van den Heuvel J. Microbiology of the Phyllosphere. London: Cambridge University Press, 1986: 188-204.
- [30] Brian R Silliman, Steven Y Nowell. Fungal farming in a snail. Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America, 2003, 100(26): 15643-15648.
- [31] Kruess A, Eber S, Kluth S, Tschamtk T. Plant-insect-pathogen interactions on local and regional scales // Weisser W W, Evan Siemann. Insects and Ecosystem Function. Berlin: Springer-Verlag, 2004: 155-174.
- [32] Paul E Hatcher. Three-way interactions between plant pathogenic fungi, herbivorous insects and their host plants. Biological Reviews, 1995, 70(4): 639-694.
- [33] Thomas Hohn. Plant virus transmission from the insect point of view. Proceeding of the National Academy of Science of the United States of America, 2007, 104(46): 17905-17906.
- [34] Fraedrich S W, Harrington T C, Rabaglia R J, Ulyshen M D, Mayfield A E III, Hanula J L, Eichwort J M, Miller D R. A fungal symbiont of the redbay Ambrosia beetle causes a lethal wilt in redbay and other Lauraceae in the Southeastern United States. Plant Disease, 2008, 92(2): 215-224.
- [35] Jürg Friedli, Sven Bacher. Mutualistic interaction between a weevil and a rust fungus, two parasites of the weed *Cirsium arvense*. Oecologia, 2001, 129(4): 571-576.
- [36] Gary M Lovett. Critical issues for critical loads. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(3): 808-809.
- [37] Lana Dobrindt, Hans-Georg Stroh, Johannes Isselstein, Stefan Vidal. Infected-not infected: Factors influencing the abundance of the endophyte *Neotyphodium lolii* in managed grasslands. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2013, 175: 54-59.
- [38] Rachel A Meissner, José M Facelli. Effects of sheep exclusion on the soil seed bank and annual vegetation in chenopod shrublands of South Australia. Journal of Arid Environments, 1999, 42(2): 117-128.
- [39] 杨晓晖, 张克斌, 侯瑞萍. 封育措施对半干旱沙地草场植被群落特征及地上生物量的影响. 生态环境, 2005, 14(5): 730-734.
- [40] 单贵莲, 徐柱, 宁发, 马玉宝, 李临杭. 围封年限对典型草原群落结构及物种多样性的影响. 草业学报, 2008, 17(6): 1-8.
- [41] Lars Ericson, Anders Wennström. The effect of herbivory on the interaction between the clonal plant *Trientalis europaea* and its smut fungus *Urocystis trientalis*. Oikos, 1997, 80: 107-111.
- [42] Michael A Bowers, Christopher F Sacchi. Fungal mediation of a plant-herbivore interaction in an early successional plant community. Ecology, 1991, 72(3): 1032-1037.
- [43] Knops J M H, Tilman D, Haddad N M, Naeem S, Mitchell C E, Haarstad J, Ritchie M E, Howe K M, Reich P B, Siemann E, Groth J. Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. Ecology Letters, 1999, 2(5): 286-293.
- [44] Debra D Finch, Helen M Alexander. Variation in plant distributions, plant traits and disease levels across a woodland/grassland ecotone. The American Midland Naturalist, 2011, 166(2): 309-324.
- [45] Tanja Rottstock, Jasmin Joshi, Volker Kummer, Markus Fischer. Higher plant diversity promotes higher diversity of fungal pathogens, while it decreases pathogen infection per plant. Ecology, 2014, 95(7): 1907-1917.
- [46] Wu G L, Du G Z, Liu Z H, Simon Thirgood. Effect of fencing and grazing on a Kobresia-dominated meadow in the Qinghai-Tibetan Plateau. Plant and Soil, 2009, 319(1/2): 115-126.
- [47] Burdon J J, Chilvers G A. Host density as a factor in plant disease ecology. Annual Review of Phytopathology, 1982, 20: 143-166.
- [48] Sugden A M. Ecology: diversity and ecosystem resilience. Science, 2000, 290(5490): 233-235.
- [49] Charles E Mitchell, Peter B Reich, David Tilman, James V Groth. Effects of elevated CO<sub>2</sub>, nitrogen deposition, and decreased species diversity on foliar fungal plant disease. Global Change Biology, 2003, 9(3): 438-451.
- [50] Ellen Latz, Nico Eisenhauer, Björn C Rall, Eric Allan, Christiane Roscher, Stefan Scheu, Alexandre Jousset. Plant diversity improves protection against soil-borne pathogens by fostering antagonistic bacterial communities. Journal of Ecology, 2012, 100(3): 597-604.
- [51] Leonard K J. Factors affecting rates of stem rust increase in mixed plantings of susceptible and resistant oat varieties. Phytopathology, 1969, 59: 1845-1850.
- [52] Charles E Mitchell, David Tilman, James V Groth. Effects of plant species richness on invasion dynamics, disease outbreaks, insect abundances and diversity. Ecology Letters, 1999, 2: 256-293.
- [53] Charles E M, David T, James V G. Effects of grassland plant species diversity, abundance, and composition on foliar fungal disease. Ecology, 2002, 83(6): 1713-1726.
- [54] 陈秀蓉. 陇东典型草原草地退化与微生物相关性及其优势菌系统发育分析与鉴定[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2003.
- [55] Keesing F, Holt R D, Ostfeld R S. Effects of species diversity on disease risk. Ecology Letters, 2006, 9(4): 485-498.

- [56] 南志标. 混播治理牧草病害的研究. 中国草原与牧草, 1986, 3(5): 40-46.
- [57] Milan Kobes, Bohumila Voženílková, Martin Šlachta, Jan Frelich. The occurrence of *Erysiphe trifolii* on *Lathyrus pratensis* in a foothill area of South Bohemia. *Journal of Agrobiology*, 2011, 28(1): 25-31.
- [58] 苏生昌, 王雪薇, 王纯利, 赵振宇. 苜蓿褐斑病在新疆的发生. 草业科学, 1997, 14(5): 31-33.
- [59] 侯天爵, 周淑清, 刘一凌, 白儒. 苜蓿锈病的发生、危害与防治. 内蒙古草业, 1996, (1/2): 41-44.
- [60] Robert G Pratt. Evaluation of foliar clipping treatments for cultural control of *Sclerotinia* crown and stem rot in crimson clover. *Plant Disease*, 1991, 75: 59-62.
- [61] 史娟, 贺达汉, 洗晨钟, 沙文生, 王锐. 宁夏南部山区苜蓿褐斑病田间发生及流行动态. 草业科学, 2006, 23(12): 93-97.
- [62] Greg Spyreas, David J Gibson, Beth A Middleton. Effects of endophyte infection in tall fescue (*Festuca arundinacea*; Poaceae) on community diversity. *International Journal of Plant Sciences*, 2001, 162: 1237-1245.
- [63] Pablo A García Parisi, Cecilia Casas, Pedro E Gundel, Marina Omacini. Consequences of grazing on the vertical transmission of a fungal *Neotyphodium* symbiont in an annual grass population. *Austral Ecology*, 2012, 37(5): 620-628.
- [64] Williams D W, Powell A J, Vincelli P, Dougherty C T. Dollar spot on bentgrass influenced by displacement of leaf surface moisture, nitrogen, and clipping removal. *Crop Science*, 1996, 36(5): 1304-1309.
- [65] 刘若. 国外利用火防治牧草病害的概况. 草原与草坪, 1988, (2): 1-4.
- [66] Audrey Niboyet, Jamie R Brown, Paul Dijkstra, Joseph C Blankinship, Paul W Leadley, Xavier Le Roux, Laure Barthes, Romain L Barnard, Christopher B Field, Bruce A Hungate. Global change could amplify fire effects on soil greenhouse gas emissions. *Plos One*, 2011, 6(6): e20105.
- [67] Bitty A Roy, Kenneth Hudson, Matt Visser, Bart R Johnson. Grassland fires may favor native over introduced plants by reducing pathogen loads. *Ecology*, 2014, 95(7): 1897-1906.
- [68] 翟桂玉. 牧草病害的预防与控制. 当代畜牧, 2002, (6): 32-34.
- [69] 南志标. 我国的苜蓿病害及其综合防治体系. 动物科学与动物医学, 2001, 18(4): 1-4.
- [70] Hardison J R. Fire and flame for plant disease control. *Annual Review of Phytopathology*, 1976, 14: 355-379.
- [71] Davis R D. Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) development in a *Stylosanthes* spp. Based pasture in response to fire and rain. *Tropical Grassland*, 1991, 25: 365-370.
- [72] Lenné J M. Control of anthracnose in the tropical pasture legume *Stylosanthes capitata* by burning. *Tropical Pest Management*, 1982, 28(3): 223-227.
- [73] 陈亮, 赵兰坡, 赵兴敏. 秸秆焚烧对不同耕层土壤酶活性、微生物数量以及土壤理化性状的影响. 水土保持学报, 2012, 26(4): 118-122.
- [74] Han X M, Shauna P Dendy, Karen A Garrett, Fang L, Melinda D Smith. Comparison of damage to native and exotic tallgrass prairie plants by natural enemies. *Plant Ecology*, 2008, 198(2): 197-210.
- [75] 任继周, 南志标, 郝敦元. 草业系统中的界面论. 草业学报, 2000, 9(1): 1-8.
- [76] Barbetti M J. The successful control of clover scorch disease (*Kabatiella caulivora*) in Australian subterranean clover pastures [A]. In: Chakraborty S, Leath k J, Skipp R A, et al., Pasture and Forage Crops Pathology [M]. ASA CSSA SSSA, Madison, USA, 1996, 589-601.
- [77] 刘若. 草原保护学. 北京: 中国农业出版社, 1994: 3-4.
- [78] Jaacov Katan. Physical and cultural methods for the management of soil-borne pathogens. *Crop Protection*, 2000, 19(8/10): 725-731.
- [79] Mundt C C. Use of multiline cultivars and cultivar mixtures for disease management. *Annual Review of Phytopathology*, 2002, 40: 381-410.
- [80] 南志标, 李春杰. 中国草类作物病理学研究. 北京: 海洋出版社, 2003: 138-157.
- [81] 侯扶江, 杨中艺. 放牧对草地的作用. 生态学报, 2006, 26(1): 244-264.
- [82] Maloy O C, Lang K J, Carl Freiherr von Tubeuf. Pioneer in biological control of plant diseases. *Annual Review of Phytopathology*, 2003, 41: 41-52.