



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

松嫩平原西部盐碱地紫花苜蓿产量和品质对刈割频次与施肥的响应

那佳, 黄立华, 晏益民, 张璐, 黄金鑫

引用本文:

那佳, 黄立华, 晏益民, 等. 松嫩平原西部盐碱地紫花苜蓿产量和品质对刈割频次与施肥的响应[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(5): 882–890.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0539>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

不同农作措施对少花蒺藜草(*Cenchrus pauciflorus* Benth)种子库及其繁殖能力的影响

张衍雷, 张瑞海, 付卫东, 宋振, 倪汉文, 张国良

农业资源与环境学报. 2015(3): 312–320 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0040>

油菜绿肥翻压还田对新疆盐碱土壤的改良效果研究

刘慧, 李子玉, 白志贵, 刘建国

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 914–923 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0566>

3种改良剂对滨海盐碱地土壤理化性状及玉米生长的影响

王德领, 诸葛玉平, 杨全刚, 姜燕宏, 张行, 王会, 潘红

农业资源与环境学报. 2021, 38(1): 20–27 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0143>

硅铁施用对水稻生长及磷吸收的影响

刘煜椿, 李仁英, 谢晓金, 李霖, 徐向华, 张婧, 吴思佳, 简静, 李玉聪

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 511–517 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0145>

7种紫花苜蓿对云南某铅锌矿区土壤镉铅的累积特征及品种差异

杨姝, 贾乐, 毕玉芬, 湛方栋, 陈建军, 李博, 祖艳群, 李元

农业资源与环境学报. 2018, 35(3): 222–228 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0334>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

那佳, 黄立华, 晏益民, 等. 松嫩平原西部盐碱地紫花苜蓿产量和品质对刈割频次与施肥的响应[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(5): 882–890.

Najia, HUANG L H, YAN Y M, et al. Response of alfalfa yield and quality to mowing frequency and fertilization in saline-sodic land of the western Songnen Plain[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(5): 882–890.



开放科学 OSID

松嫩平原西部盐碱地紫花苜蓿产量和品质对刈割频次与施肥的响应

那佳^{1,2}, 黄立华^{1,3*}, 晏益民^{1,2}, 张璐^{1,2}, 黄金鑫^{1,3}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国科学院大安碱地生态试验站, 吉林 大安 131317)

摘要:为探讨刈割频次、施肥以及二者交互作用对轻度盐碱地紫花苜蓿产量和品质的影响,采用以刈割频次(1、2、3、4次)为主处理,施肥(对照;施N肥;施P肥;施NPK复合肥)为副处理的双因素裂区试验进行研究。结果表明:同一生长季内,随着刈割频次的增加紫花苜蓿干草产量显著增加($P<0.05$),3次与4次刈割分别比1次刈割增产123.8%和131.6%;施肥对干草产量无显著影响,而刈割频次与施肥的交互作用对干草产量具有显著影响($P<0.05$),刈割3次并添加NPK复合肥处理的干草产量最高。刈割频次和施肥对紫花苜蓿营养品质具有不同程度的影响,二者交互作用仅对粗蛋白含量具有显著影响($P<0.05$)。随着刈割频次的增加,紫花苜蓿茎叶比下降,粗蛋白、粗灰分含量和 K^+/Na^+ 显著增加($P<0.05$),粗脂肪和粗纤维含量显著降低($P<0.05$), Ca^{2+} 含量先增加后降低, Ca^{2+}/Na^+ 则表现出先升高后稳定的趋势。施NPK复合肥使苜蓿粗蛋白和粗脂肪含量显著增加,粗纤维含量显著降低($P<0.05$)。刈割频次对第二年返青率具有显著影响($P<0.05$),4次刈割明显降低了苜蓿的存活率,返青率仅为12.5%,显著低于其他处理。研究表明,在松嫩平原轻度盐碱地种植紫花苜蓿,每年刈割3次并施用NPK复合肥为最佳管理方式。

关键词:紫花苜蓿;苏打盐碱地;刈割频次;干草产量;品质

中图分类号:S541.9

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2021)05-0882-09

doi: 10.13254/j.jare.2020.0539

Response of alfalfa yield and quality to mowing frequency and fertilization in saline-sodic land of the western Songnen Plain

Najia^{1,2}, HUANG Lihua^{1,3*}, YAN Yimin^{1,2}, ZHANG Lu^{1,2}, HUANG Jinxin^{1,3}

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Da'an Sodic Land Experiment Station, Chinese Academy of Sciences, Da'an 131317, China)

Abstract: To explore the effects of mowing frequency, fertilization, and their interaction on the yield and quality of alfalfa (*Medicago sativa*) in light saline-sodic soils, a field experiment with a split-plot design was conducted in the western Songnen Plain. The mowing frequency treatment plot (once, twice, three, and four times per year) was used as the main plot and the fertilization treatment plot (CK, N, P, and NPK) was the secondary plot. The results showed that the hay yield of alfalfa increased significantly ($P<0.05$) with mowing frequency increasing in the same growing season; when mowing frequency was 3 times and 4 times, the hay yield increased by 123.8% and 131.6%, respectively, compared with that of mowing once. Although the effect of fertilization on the hay yield was not significant, the interaction between mowing frequency and fertilization was significant ($P<0.05$). The hay yield was the highest when mowing occurred thrice and the NPK compound fertilizer was added. Mowing frequency and fertilization had different influences on the nutritional quality of

收稿日期: 2020-09-23 录用日期: 2020-11-06

作者简介: 那佳(1996—),女,内蒙古正蓝旗人,硕士研究生,研究方向为植物逆境生态学。E-mail: najia@iga.ac.cn

*通信作者: 黄立华 E-mail: huanglihua@iga.ac.cn

基金项目: 国家重点基础研究(973计划)项目(2015CB150803); 吉林省科技发展计划项目(20190303090SF)

Project supported: The National Basic Research Program of China (2015CB150803); The Jilin Provincial Research Foundation for Development of Science and Technology, China (20190303090SF)

alfalfa and the effect of their interaction on the crude protein content was also significant ($P<0.05$). With the increase in mowing frequency, the stem-leaf ratio of alfalfa decreased; the content of crude protein, content of crude ash, and ratio of K^+/Na^+ increased significantly ($P<0.05$). The content of crude fat and content of crude fiber decreased significantly ($P<0.05$); the content of Ca^{2+} increased first and then decreased; and the ratio of Ca^{2+}/Na^+ tended to increase first and then stabilize. Application of NPK compound fertilizer significantly increased the content of crude protein and content of crude fat of alfalfa and decreased the content of crude fiber ($P<0.05$). Notably, the mowing frequency decreased the greening rate of alfalfa in the second year ($P<0.05$), and the greening rate of alfalfa decreased significantly when mowing frequency reached 4 times than that of the other treatments, which was only 12.5%. Therefore, mowing thrice and applying NPK compound fertilizer in the same growing season was determined as the optimal management strategy when planting alfalfa in the light saline-sodic soils of the Songnen Plain.

Keywords: alfalfa; saline-sodic land; mowing frequency; hay yield; quality

松嫩平原是我国东北地区重要的农牧业生产基地,其西部地区由于长期受干旱、风沙等自然因素影响,沙化和盐碱化耕地广泛分布^[1-2],种植作物主要为玉米、杂粮、杂豆,种植面积虽大但产量和种植效益偏低^[3]。由于自然环境衰退^[4]以及玉米全要素生产率下降,2015年农业部发布了《农业部关于“镰刀弯”地区玉米结构调整的指导意见》,鼓励在该地区实施“粮改饲”,增加土地产出效益^[5]。人工种植牧草,特别是种植豆科牧草,成为当地种植结构调整的首选。

在豆科牧草中,紫花苜蓿(*Medicago sativa*)产量高、营养丰富、适口性好^[6],具有抗旱耐盐碱等优良特性。因此基于松嫩平原农牧交错区的地理位置以及草牧业的发展趋势,紫花苜蓿成为近年来我国北方地区广泛种植的饲草作物。刈割是苜蓿人工草地利用和管理的主要手段^[7],不同频次的刈割会影响其产量、持久性和营养价值^[8]。有研究表明,由于紫花苜蓿较强的再生能力,多次刈割利用可提高紫花苜蓿产量和品质^[9-12]。施肥则可通过补充土壤养分促进苜蓿根瘤菌生长^[13]和养分吸收利用率^[14],提高紫花苜蓿产量,增加蛋白质和粗脂肪含量,降低粗纤维含量等^[15-16]。也有研究指出,添加磷肥对苜蓿干草产量的影响最大,其次为氮肥和钾肥,而适宜的氮磷钾配比施肥时产量最高^[17]。然而,对于不同地理区域和土壤环境而言,适宜的刈割频次和施肥策略需要通过必要的田间试验来逐步确定,刈割与施肥二者间的交互作

用对盐碱地紫花苜蓿产量和品质的影响,目前也亟待开展相关的研究。

为此,结合国家种植结构调整的契机,本研究在松嫩平原西部轻度盐碱化旱地种植紫花苜蓿,并于第二年进行了紫花苜蓿的刈割和施肥试验。期望通过分析紫花苜蓿产量和品质对刈割频次和施肥的响应,找出该地区适宜的紫花苜蓿栽培管理模式,为当地人工草地建设提供科技支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验设在中国科学院大安碱地生态试验站(45°35′58″~45°36′28″N, 123°50′27″~123°51′31″E),位于吉林省大安市境内,属松嫩平原西部典型苏打盐碱化草地和旱地分布区。气候为温带大陆性季风气候,春季干旱多大风;夏季炎热,雨量集中;秋季少雨,晴天多;冬季寒冷干燥。全年光照充足,无霜期高达137 d,日照时数达3 014 h,≥10℃的有效积温为2 935℃·d。该地区无河流经过,地表径流可利用量较少,但地下水资源丰富^[18]。试验地前茬作物为玉米,土壤为轻度盐碱化草甸土,基本理化特性如表1所示。

1.2 试验方法

1.2.1 供试材料

供试紫花苜蓿品种为“公农1号”,由吉林省农业科学院培育,其具有耐寒耐旱、高产稳产等优良性

表1 试验样地土壤基本理化性质

Table 1 Soil basic physical and chemical properties in the experimental site

土壤质地 Soil texture	pH	电导率 Electrical conductivity/ (mS·cm ⁻¹)	有机质含量 Organic matter/ (g·kg ⁻¹)	速效氮含量 Available nitrogen/ (mg·kg ⁻¹)	速效磷含量 Available phosphorus/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾含量 Available potassium/ (mg·kg ⁻¹)
黏壤土	8.42	0.24	8.57	134.4	31.8	135.6

注:pH和电导率均在土水比1:5的条件下测定。

Note: Soil pH and electrical conductivity were measured under the condition of 1:5 of soil-water ratio.

状^[19]。供试氮肥为尿素(N 46.2%),磷肥为重过磷酸钙(P₂O₅ 46%),复合肥为水溶性撒可富复合肥(N-P-K=18-16-15)。

1.2.2 试验设计

田间试验采用裂区设计,主区为刈割频次,副区为施肥。主处理设为每年1次(M1)、2次(M2)、3次(M3)和4次刈割(M4),副处理设为无施肥对照(CK)、单施氮肥 50 kg·hm⁻²(N)、单施磷肥 50 kg·hm⁻²(P)和施复合肥 50 kg·hm⁻²(NPK)4个处理,各处理均3次重复,主区与副区均随机排列,小区面积为13 m²(长5 m×宽2.6 m),各小区间筑0.65 m的土埂后用塑料薄膜覆盖,以防土壤水肥互渗。2016年春季统一进行人工播种,按垄撒播,播种量为10 kg·hm²,行距(即垄距)为0.65 m。出苗后统一水肥管理,保持试验期间苜蓿长势均匀,秋季进行统一刈割。2017年春季苜蓿返青后开始试验处理。施肥处理的总施肥量固定,由于刈割频次不同,将总肥量均匀分为1、2、3、4份后分别于苜蓿返青期(5月15日)和每次刈割后进行添加(表2)。施肥时将各处理对应的小区施肥量预先称好,溶于等量的水中,并将其以喷洒的方式均匀浇于苜蓿根茬处,随后利用10 L的水将容器洗净再次均匀喷洒,避免养分的流失和挥发损失,对照处理浇等量清水。从6月中旬至9月底按刈割频次分期进行刈割与施肥(表2),每次刈割留茬高度为4 cm,统一田间管理。

1.2.3 测定指标及方法

牧草产量:每次刈割后以小区为单元全部称取鲜质量,然后随机取2份样品(约0.5 kg)放入105℃烘箱中杀青2 h,转为65℃烘干至恒质量,折算出整个小区的干草产量。

茎叶比:将烘干样品的植株茎叶分离后分别测定质量,计算茎叶比。

返青率:2018年5月30日,以1 m×1 m的样方统

计样方内返青茬与未返青茬的数量,计算返青率^[20]。

苜蓿品质分析:按照刈割次数等比例将烘干样品的茎叶混合粉碎,过200目筛,消煮后测定。粗蛋白含量利用凯氏定氮法测定氮素含量并计算得出;粗脂肪含量利用于辉等^[21]的干苜蓿粗脂肪改进方法测定;粗纤维含量根据《GB/T 6434—2006 饲料中粗纤维的含量测定:过滤法》测定^[22];粗灰分含量测定依据《GB/T 6438—2007 饲料中粗灰分的测定》^[23],矿质元素中K⁺、Na⁺、Ca²⁺和Mg²⁺的含量利用硝酸-高氯酸消煮后原子吸收法测定^[24]。

1.3 数据分析

试验数据通过Microsoft Excel软件整理,采用SPSS 25.0进行数据分析。刈割频次及施肥对产量和品质性状的影响采用一般线性模型(Generalized linear models, GLM)双因素方差分析法进行分析,随后进行Duncan多重比较。同一刈割频次条件下不同施肥处理的影响利用单因素方差分析法分析后进行Duncan多重比较。利用Sigmaplot 12.5制图,图中的数据均以平均值±标准误的格式表示。

2 结果与分析

2.1 产量与品质性状的方差分析

对以区组为随机变量的一般线性模型进行方差分析,结果如表3所示,刈割频次对全年干草产量、粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、粗灰分、Ca²⁺、K⁺/Na⁺、Ca²⁺/Na⁺、茎叶比及返青率具有显著影响($P<0.05$);施肥对粗蛋白、粗脂肪及粗纤维具有显著影响($P<0.05$)。此外,刈割频次与施肥的交互作用对全年干草产量和粗蛋白含量具有显著影响($P<0.05$)。

2.2 干草产量

随着刈割频次的增加,紫花苜蓿干草产量显著增加,M3和M4处理的苜蓿干草产量显著高于M1、M2($P<0.05$),但M3和M4处理间无显著差异(图1)。与

表2 紫花苜蓿田间试验刈割日期与施肥处理方案

Table 2 The design of mowing date and fertilization of alfalfa in the field experiment

刈割处理 Mowing	返青期 Greening period	现蕾期 Squaring stage		初花期 First bloom		盛花期 Flowering period		结荚期 Pod-setting stage		成熟期 Maturity
	05-15	06-10	06-11	07-13	07-14	07-25	07-26	08-13	08-14	09-15
M1	F(100%)	—	—	—	—	—	—	—	—	M
M2	F(50%)	M	F(50%)	—	—	—	—	—	—	M
M3	F(33.3%)	M	F(33.3%)	—	—	M	F(33.3%)	—	—	M
M4	F(25%)	M	F(25%)	M	F(25%)	—	—	M	F(25%)	M

注:F(x%):施肥(施肥量占总施肥量的百分比);M:刈割;“—”:无任何处理。

Note:F(x%):fertilization(the percentage of the fertilizer to the total fertilizer);M:mowing;“—”:no treatment.

表3 刈割频次及施肥处理对紫花苜蓿产量与品质性状影响的方差分析(F 值)Table 3 ANOVA of effect of mowing frequency and fertilization on alfalfa yield and quality traits (F value)

因素 Factor	干草产量 Hay yield	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat	粗纤维 Crude fiber	粗灰分 Crude ash	矿质营养Mineral nutrients				茎叶比		返青率	
						K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ /Na ⁺	Ca ²⁺ /Na ⁺	Stem-leaf ratio	Turning-green ratio
刈割频次	33.08*	58.72*	19.25*	16.00 *	12.23*	2.93	4.11	9.12*	2.09	6.46*	4.99*	12.16*	27.32*
施肥处理	2.97	22.93*	4.46*	9.75*	2.41	0.16	0.56	1.04	1.04	0.73	0.47	2.91	0.23
区组	3.30	1.16	1.27	0.58	1.74	7.47*	10.12*	0.27	2.43	21.85*	5.25*	0.74	1.05
刈割频次×区组	6.34*	1.37	0.56*	3.64*	2.55*	1.10	0.89	2.80*	3.18*	0.68	1.04	6.90*	1.62
刈割频次×施肥处理	5.37*	2.36*	0.18	0.37	0.81	0.89	1.15	0.72	0.85	0.84	1.14	1.28	0.32

注:*表示影响显著($P<0.05$)。Note:* indicates the significant effect($P<0.05$).

M1处理相比,M2、M3和M4处理的苜蓿干草产量分别提高了37.0%、123.8%和131.6%。但随着刈割频次的增加,每茬干草产量则呈现下降的趋势,如M3处理的第2和第3次刈割,苜蓿干草产量分别较第1次刈割减少了3.0%和37.7%,M4处理的第2、第3和第4次刈割,苜蓿干草产量分别较第1次刈割减少了35.9%、48.9%和69.8%。

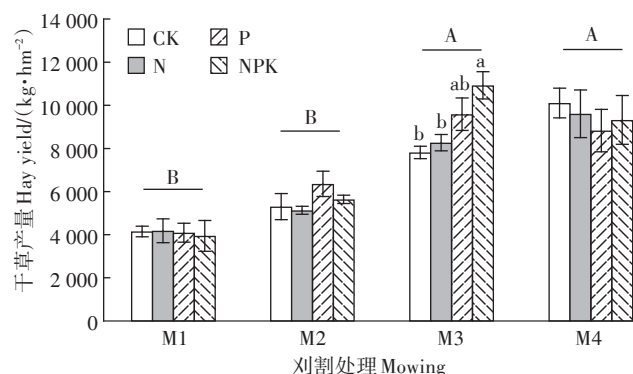
施肥处理总体上对紫花苜蓿干草产量无显著影响(表3),施N处理较CK减产0.7%,P和NPK处理分别较CK增产5.5%和9.0%,但差异均不显著。在不同的刈割频次下,各施肥处理对紫花苜蓿干草产量的影响具有较大差异(图1)。在M1、M2和M4处理中,三种不同施肥处理(N、P和NPK)对于干草产量的影响与对照(CK)没有显著差异,但在M3处理中,NPK处

理的苜蓿干草产量显著高于CK和N处理($P<0.05$),较二者分别增产39.8%和32.1%。

2.3 品质性状

随着刈割频次的增加,紫花苜蓿粗蛋白、粗灰分含量和K⁺/Na⁺表现出增加的趋势,粗脂肪与粗纤维含量整体表现出降低的趋势,Ca²⁺含量在M2时达到最高值后逐渐下降,Ca²⁺/Na⁺在M2时显著增加,之后保持稳定(表4)。与M1处理相比,M2、M3和M4处理的紫花苜蓿粗蛋白含量分别显著增加了3.06、4.65、5.41个百分点,粗灰分含量分别显著增加了0.76、0.64、1.44个百分点($P<0.05$)。M3与M4处理的粗蛋白含量之间无显著差异,M2与M3处理的粗灰分含量之间无显著差异。M3和M4处理紫花苜蓿粗脂肪含量较M1处理显著降低0.36、0.47个百分点,M2、M3和M4处理粗纤维含量较M1处理分别显著减少了3.83、4.41、8.27个百分点($P<0.05$)。M1与M2处理、M3与M4处理间粗脂肪含量无显著差异,M2与M3处理间粗纤维含量无显著差异。与M1相比,M2、M3和M4处理的Ca²⁺含量分别提高0.44、0.29、0.18个百分点,其中M1与M4处理无显著差异($P\geq 0.05$);K⁺/Na⁺分别提高17.2%、40.3%和51.2%,其中M1与M2处理无显著差异($P\geq 0.05$);Ca²⁺/Na⁺分别提高了46.7%、41.6%、49.5%,与M1均具有显著差异($P<0.05$)。

施肥处理对紫花苜蓿粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量具有显著影响($P<0.05$),对其他品质性状无显著影响(表3)。与CK相比,N、P和NPK处理的粗蛋白含量分别增加0.72、1.09、3.00个百分点,粗脂肪含量分别增加0.17、0.22、0.49个百分点。N、P和NPK处理的粗纤维含量均显著低于CK,分别降低2.91、2.46、2.87个百分点。同一刈割频次下,各施肥处理对紫花苜蓿营养品质也具有不同程度的影响。M1、M3及M4处理中不同施肥处理的粗蛋白含量之间存在显著差异,



不同大写字母表示刈割频次处理间差异显著($P<0.05$);不同小写字母表示同一刈割频次下施肥处理间差异显著($P<0.05$);无标注表示无显著差异($P\geq 0.05$)。下同

Different capital letters indicate significant differences among mowing frequencies($P<0.05$);Different lowercase letters indicate significant differences among fertilization treatments under the same mowing frequency($P<0.05$). No label indicates no significant difference($P\geq 0.05$). The same below

图1 刈割频次与施肥对紫花苜蓿干草产量的影响

Figure 1 The effect of mowing frequency and fertilization on hay yield of alfalfa

表4 刈割频次及施肥处理对紫花苜蓿品质性状的影响

Table 4 The effect of mowing frequency and fertilization on quality of alfalfa

刈割处理 Mowing	施肥处理 Fertilization	粗蛋白 Crude protein/%	粗脂肪 Crude fat/%	粗纤维 Crude fiber/%	粗灰分 Crude ash/%	矿质营养含量The content of mineral nutrients/%				K ⁺ /Na ⁺	Ca ²⁺ /Na ⁺
						K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺		
M1	CK	7.61±0.80b	2.44±0.20	33.56±2.74	6.60±0.29	0.83±0.06	0.32±0.06	1.45±0.13	0.26±0.04	2.63±0.49	4.67±1.20
	N	7.66±0.24b	2.61±0.45	31.12±2.22	6.61±0.16	0.91±0.16	0.33±0.08	1.42±0.26	0.30±0.01	2.78±0.35	4.54±1.65
	P	7.77±0.53b	2.87±0.40	30.81±2.45	6.98±0.43	0.82±0.22	0.38±0.15	1.31±0.02	0.26±0.05	2.47±1.32	3.76±1.21
	NPK	10.60±0.70a	3.06±0.41	31.12±1.71	6.78±0.44	0.88±0.28	0.38±0.15	1.34±0.08	0.28±0.03	3.02±2.52	4.24±2.48
	平均 Mean	8.41±1.42C	2.74±0.41A	31.65±2.28A	6.74±0.34C	0.86±0.17	0.35±0.10	1.38±0.14C	0.28±0.03	2.73±1.26C	4.30±1.51B
M2	CK	11.40±2.18	2.85±0.06	29.78±1.81	7.54±0.55	0.94±0.10	0.36±0.06	1.85±0.10	0.32±0.01	2.67±0.68	5.20±1.02
	N	10.50±0.14	2.89±0.44	27.48±1.51	7.21±0.49	0.98±0.22	0.29±0.09	1.80±0.27	0.33±0.06	3.60±1.34	6.69±2.83
	P	10.80±0.29	2.93±0.46	26.77±0.08	7.51±0.56	0.91±0.17	0.25±0.03	1.94±0.10	0.30±0.02	3.77±1.06	8.00±1.31
	NPK	13.17±2.26	3.17±0.24	27.24±1.10	7.76±0.45	0.88±0.07	0.33±0.05	1.71±0.17	0.33±0.03	2.75±0.66	5.36±1.35
	平均 Mean	11.47±1.73B	2.96±0.32A	27.82±1.64B	7.50±0.48B	0.93±0.14	0.31±0.07	1.82±0.17A	0.32±0.03	3.20±0.98BC	6.31±1.92A
M3	CK	11.25±0.79b	2.15±0.37	29.44±1.10a	7.47±0.52	1.00±0.12	0.37±0.12	1.65±0.03	0.33±0.01	3.02±1.52	4.85±1.85
	N	13.35±0.20a	2.36±0.40	25.75±1.32b	7.25±0.47	1.08±0.18	0.26±0.07	1.71±0.18	0.32±0.01	4.41±1.63	6.82±1.90
	P	13.64±1.14a	2.38±0.10	27.71±1.01ab	7.33±0.20	1.02±0.18	0.29±0.07	1.71±0.10	0.32±0.04	3.85±1.74	6.18±1.28
	NPK	13.98±0.84a	2.65±0.29	26.04±0.11b	7.46±0.23	0.95±0.03	0.25±0.07	1.60±0.21	0.30±0.04	4.04±1.39	6.53±1.08
	平均 Mean	13.06±1.31A	2.38±0.32B	27.24±1.76B	7.38±0.34B	1.02±0.13	0.29±0.09	1.67±0.13AB	0.32±0.03	3.83±1.44AB	6.09±1.55A
M4	CK	11.67±0.63c	2.05±0.24	25.53±1.62	8.44±0.74	0.96±0.17	0.24±0.05	1.57±0.16	0.32±0.04	4.16±1.08	6.81±1.39
	N	13.33±0.57b	2.28±0.34	22.33±3.01	7.77±0.23	0.88±0.23	0.26±0.05	1.57±0.03	0.33±0.02	3.58±1.33	6.34±1.44
	P	14.10±0.52b	2.19±0.15	23.20±2.63	8.50±0.53	1.00±0.03	0.29±0.09	1.54±0.13	0.32±0.04	3.71±1.09	5.64±1.32
	NPK	16.19±0.30a	2.57±0.09	22.45±2.92	8.01±0.44	1.13±0.12	0.25±0.08	1.56±0.07	0.34±0.02	5.06±2.20	6.93±2.74
	平均 Mean	13.82±1.75A	2.27±0.28B	23.38±2.59C	8.18±0.54A	0.99±0.16	0.26±0.06	1.56±0.10BC	0.32±0.03	4.12±1.41A	6.43±1.64A
平均 Mean	CK	10.49±2.05c	2.37±0.38b	29.58±3.39a	7.51±0.83	0.93±0.12	0.32±0.09	1.63±0.18	0.31±0.04	3.12±1.08	5.38±1.49
	N	11.21b±2.48c	2.54±0.43ab	26.67±3.77b	7.21±0.53	0.96±0.19	0.29±0.07	1.63±0.23	0.32±0.03	3.59±1.23	6.10±1.97
	P	11.58±2.71b	2.59±0.43ab	27.12±3.25b	7.58±0.70	0.96±0.17	0.30±0.09	1.62±0.26	0.30±0.04	3.45±1.28	5.89±1.92
	NPK	13.49±2.35a	2.86±0.36a	26.71±3.57b	7.50±0.59	0.94±0.17	0.30±0.10	1.55±0.19	0.31±0.04	3.72±1.84	5.76±2.06

注:大写字母表示不同刈割频次处理间差异显著($P<0.05$);小写字母表示同一刈割频次下不同施肥处理间差异显著($P<0.05$);无标注表示不同处理间无显著差异($P\geq 0.05$)。

Note: Capital letters indicate the significant difference among different mowing frequencies ($P<0.05$); Lowercase letters indicate the significant difference among different fertilization treatments under the same mowing frequency ($P<0.05$); No label indicates no significant difference among different treatments.

M3处理不同施肥处理的粗纤维含量之间存在显著差异($P<0.05$,表4)。M1和M4处理条件下NPK处理的粗蛋白含量显著高于N和P处理,而M3处理下三者(N、P和NPK)无显著差异。与CK相比,M1处理下N、P和NPK处理的粗蛋白含量分别增加0.05、0.16、2.99个百分点,M3处理的粗蛋白含量分别增加2.10、2.39、2.73个百分点,M4处理的粗蛋白含量分别增加1.66、2.43、4.52个百分点。在M3处理条件下N、P与NPK处理的粗纤维含量之间无显著差异。与CK相比,N、P和NPK处理的粗纤维含量分别降低了3.69、1.73、3.40个百分点,其中CK与P处理无显著差异。

2.4 茎叶比和返青率

随着刈割频次的增加,紫花苜蓿平均茎叶比和返

青率都呈现逐渐降低的趋势(图2),其中返青率在M4处理下降显著。相较于M1处理,M2、M3和M4处理的茎叶比分别显著降低42%、51%和63%,返青率分别降低6.68、13.01、65.19个百分点。

施肥处理对紫花苜蓿茎叶比和返青率无显著影响(表3)。与CK相比,N、P和NPK处理的茎叶比分别降低6.0%、17.2%和12.9%,返青率分别降低3.70、5.04、2.13个百分点。在不同的刈割频次下,各施肥处理对紫花苜蓿平均茎叶比和返青率的影响也无显著差异(图2)。在M1、M2和M4处理下,施肥处理的茎叶比均较CK处理低,而M3条件下N处理的茎叶比相对CK处理增加2.0%。在M2和M3条件下各施肥处理返青率均低于CK处理。

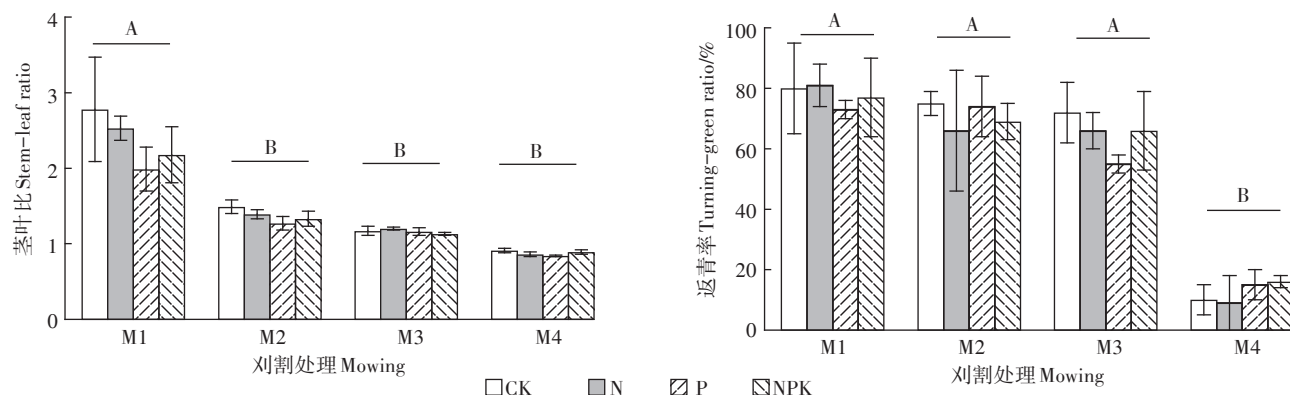


图2 刈割频次与施肥对紫花苜蓿茎叶比和返青率的影响

Figure 2 The effect of mowing frequency and fertilization on the stem-leaf ratio and turning-green ratio of alfalfa

3 讨论

3.1 刈割、施肥及其交互作用对紫花苜蓿产量的影响

不同刈割制度和施肥措施是影响紫花苜蓿产量的主要管理因素^[7]。由于苜蓿再生能力强,同一生长季内多次刈割是提高苜蓿产量最直接有效的方法。本试验中,每年进行3次或4次刈割显著提高了紫花苜蓿干草产量,这与前人的研究结果^[9-10]一致。刈割频次的增加伴随着刈割时间间隔的逐渐缩短。从试验结果可看出,首次刈割后苜蓿的每茬干草产量随着刈割茬次的增加而减少,其中4次刈割处理的最后1茬产量最低,对总产量贡献率仅有12%。MITCHELL等^[25]认为刈割时间间隔(21 d)较短会扰乱苜蓿根系与茎的能量循环,导致苜蓿在快速生长期产量降低。ARANJUELO等^[26]的研究也指出苜蓿在刈割14 d后,叶片和根瘤的性能才被重新建立。牧草刈割时留茬高度对产量也具有一定的影响,研究表明在灌溉和施肥条件下近地面刈割可以促进苜蓿产量^[27]。所以除了刈割频次以外,刈割高度、刈割时间^[28]、刈割时间间隔^[29]都会影响苜蓿的再生生长和产量。

本试验发现,随着刈割次数的增加,第二年返青率显著降低($P<0.05$),其中4次刈割处理第2年返青率仅有12.5%,比3次刈割减少52.20个百分点。孙德智等^[30]指出,随着刈割频次的增加返青率降低且降幅也会逐渐增大。王坤龙等^[31]的研究结果也有相同的趋势。已有研究表明,过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)活性作为紫花苜蓿抗寒能力的标志,随着刈割次数的增加其酶活性及抗寒能力均会下降^[32]。秋季休眠是苜蓿冬季抗寒性的影响因素之一,秋季休眠苜蓿的冬季存活率是非秋季休眠苜蓿的34倍左右^[33]。但是,与秋季休眠相比,刈割频次对苜蓿的生

产力和存活更重要^[34]。综上所述,虽然多次刈割可显著增加紫花苜蓿干草产量,但是对第二年返青率的影响较大。因此,合理的刈割频次是保证苜蓿多年可持续生长和高产的重要条件。

生产上,适当追肥是提高土壤表层养分进而促进苜蓿生长、增加产量的关键。本试验中,施肥的总体增产幅度最高为9.0%,增产效果不明显。BASSO等^[35]的研究结果也显示含氮堆肥、粪肥以及无机肥等对玉米-苜蓿轮作时任一作物产量都没有显著影响。王洋等^[36]发现,返青期一次性施肥的苜蓿全年干草产量比第1次和第2次刈割后同等肥量处理分别提高12.5%和18.4%。此外,施肥方法对产量也具有影响,有研究指出中心轴施肥方法下苜蓿产量和细根生物量比带状和广播法施肥要高^[37]。因此,本试验施肥增产效果不明显的原因可能存在以下两方面:一是苜蓿返青期肥料的添加量较少,影响了前期生长和有机营养在根系中的积累;另一方面可能是肥料分多次追施情况下,每次施肥量不足^[9,38]或者肥料的后效作用较长,导致此种施肥方法对增产的作用变小^[39]。

本试验中,刈割频次与施肥处理的交互作用对紫花苜蓿干草产量也具有显著影响($P<0.05$)。1次刈割时仅N肥具有正效应;2次刈割时N肥反而产生负效应,而P肥和NPK复合肥处理产量分别增加20.1%和6.4%;3次刈割时N、P和NPK处理产量分别增加5.8%、22.7%和39.8%;4次刈割时施肥处理对干草产量则无正效应。曾庆飞等^[40]研究发现,不同施肥处理对苜蓿产量的影响具有差异,单施磷肥的效果高于单施氮肥,因为施磷肥后豆科植物的根瘤内豆血红蛋白含量增加,结瘤性和固氮活性提高,可达到以磷促氮的效果。随着刈割次数的增加紫花苜蓿固氮能力减弱^[41],主根和根冠中作为再生主要营养源的非结构性

碳水化合物(NSC)的贮存量和利用效率对磷肥也具有高敏感性^[42]。从试验结果可知,在松嫩平原西部的轻度盐碱地上,同一生长季内刈割3次并追施氮磷钾复合肥料为紫花苜蓿最适宜的栽培管理模式。

3.2 刈割频次与施肥对紫花苜蓿品质的影响

利用刈割技术可以通过牧草的补偿性生长作用和均衡性生长特性获得高品质牧草^[43]。有研究表明刈割会影响苜蓿茎叶比,刈割越晚,茎叶比越大^[44],即随着生长发育苜蓿茎叶比会降低^[45-46]。本试验也证明,多次刈割的苜蓿茎叶比下降,品质提高,而全年仅刈割1次的茎叶比最大,品质也较差。

随着紫花苜蓿刈割频次的增加,粗蛋白与粗灰分含量呈现增加的趋势,粗脂肪与粗纤维含量持续降低,多次刈割对苜蓿品质的改善作用显著^[47]。本试验中,3次与4次刈割的苜蓿粗蛋白含量可提高1.6~5.4个百分点,但二者之间无显著差异。有研究认为根系和枝条中蛋白质贮存量是苜蓿收割后恢复生长的主要有机养分来源^[8]。随着刈割频次的增加,粗脂肪与粗纤维含量降低,这使得苜蓿热量减少,适口性提高,粗灰分的增加也使植物矿物质含量得到提升。从离子含量来看, Ca^{2+} 含量随着刈割频次的增加先增加后减少,差异显著($P<0.05$),其他矿质元素养分含量基本无变化,而 K^+/Na^+ 显著提高($P<0.05$),M2、M3和M4刈割处理的 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 无显著差异。在盐碱化土壤中,由大量 Na^+ 产生的渗透胁迫和离子毒害常常会抑制植物对 K^+ 、 Ca^{2+} 及 Mg^{2+} 等离子的吸收,从而影响各种生理功能^[48-49]。从本试验结果可见,虽然 Ca^{2+} 含量先增加后减少,但是 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 在多次刈割之间并无显著差异,总体上多次刈割在一定程度上会缓解苜蓿体内 Na^+ 离子的富集,促进养分吸收,提高营养品质。

本试验中,施肥处理降低了苜蓿全年平均茎叶比和粗纤维含量,但增加了粗蛋白与粗脂肪含量,其中氮磷钾复合肥处理时效果最好,这与多数研究结果^[14,16-17]相同。陈香来等^[50]认为应该合理配置N肥和P肥的施用量,防止以磷促氮引起的氮肥过量,反而降低苜蓿品质。在养分转化吸收过程中,土壤中微生物和真菌具有重要作用,研究指出根瘤菌和AM真菌的接种可促进苜蓿生长,增加产量,提高品质^[51]。所以土壤微生物以及施肥后养分的有效吸收和利用也会影响苜蓿品质。从离子含量来看,施肥时 K^+ 、 Mg^{2+} 含量增加而 Na^+ 、 Ca^{2+} 含量减少。这表示施肥有助于植物体内 Na^+ 的排出,在减缓渗透胁迫的同时增加 K^+ 、 Mg^{2+} 等离子的含量。因此,N肥及NPK肥对 K^+ 、

Mg^{2+} 的积累均具有促进作用。所以刈割频次与施肥的交互作用只对苜蓿粗蛋白含量具有显著影响,对其他品质指标的作用不显著。由此可见,施氮磷钾复合肥是有效提高紫花苜蓿营养品质的管理方式,但是多次刈割的同时在每次刈割后添加不同肥料对苜蓿品质提高没有显著效果。

4 结论

(1)同一生长季内,刈割3次和4次可显著提高紫花苜蓿全年干草产量123.8%和131.6%,但是刈割4次处理下第二年返青率比刈割1次显著降低65.19个百分点,刈割3次且添加NPK复合肥的处理紫花苜蓿产量最高。

(2)同一生长季内,刈割频次对粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、粗灰分、 Ca^{2+} 含量、 K^+/Na^+ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ 和茎叶比等品质指标具有显著影响,施肥处理仅对粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量具有显著影响,刈割频次与施肥的交互作用则仅对粗蛋白具有显著影响,其中4次刈割且添加NPK复合肥的处理粗蛋白含量最高。

(3)综合干草产量和品质因素来看,在松嫩平原西部轻度盐碱地种植紫花苜蓿时,每年刈割3次并施用NPK复合肥为最佳种植管理模式。

参考文献:

- [1] 刘志明,晏明,李铁强,等.遥感与GIS支持下的松嫩平原农牧交错区土地沙漠化调查研究[J].第四纪研究,2004(3):348-354,369-370. LIU Z M, YAN M, LI T Q, et al. The survey study on the land desertification in the ecotone of Songnen Plain based on RS and GIS[J]. *Quaternary Sciences*, 2004(3):348-354, 369-370.
- [2] 林年丰,汤洁.松嫩平原环境演变与土地盐碱化、荒漠化的成因分析[J].第四纪研究,2005(4):474-483. LIN N F, TANG J. Study on the environment evolution and the analysis of causes to land salinization and desertification in Songnen Plain[J]. *Quaternary Sciences*, 2005(4):474-483.
- [3] 杨晓晨,明博,陶洪斌,等.中国东北春玉米区干旱时空分布特征及其对产量的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(6):758-767. YANG X C, MING B, TAO H B, et al. Spatial distribution characteristics and impact on spring maize yield of drought in northeast China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(6):758-767.
- [4] 康蕾,张红旗.我国五大粮食主产区农业干旱态势综合研究[J].中国生态农业学报,2014,22(8):928-937. KANG L, ZHANG H Q. Comprehensive research on the state of agricultural drought in five main grain producing areas in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2014, 22(8):928-937.
- [5] 农业部.农业部关于“镰刀弯”地区玉米结构调整的指导意见[EB/OL]. (2015-11-02)[2020-09-16]. http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tz/201511/t20151102_4885037.htm. Ministry of Agriculture of

- PRC. Guidance of the Ministry of Agriculture on the adjustment of corn structure in the "Sickle Bend" area[EB/OL]. (2015-11-02)[2020-09-16]. http://jiuban.moa.gov.cn/zwllm/tzgg/tz/201511/t20151102_4885037.htm.
- [6] 张春梅,王成章,胡喜峰,等.紫花苜蓿的营养价值及应用研究进展[J].中国饲料,2005(1):15-17. ZHANG C M, WANG C Z, HU X F, et al. Research progress on nutritional value and application of alfalfa[J]. *China Feed*, 2005(1):15-17.
- [7] 都帅,尤思涵,刘燕,等.不同刈割时期与刈割高度对苜蓿品质的影响[J].草地学报,2016,24(4):874-878. DU S, YOU S H, LIU Y, et al. Effect of different clipping periods and heights on alfalfa quality[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, 24(4):874-878.
- [8] 戚志强,王永雄,曾昭海,等.紫花苜蓿建植期四种刈割频次下的产量、品质及再生性研究[J].草业学报,2010,19(1):134-142. QI Z Q, YU Y X, ZENG Z H, et al. Yield, hay quality and regrowth of establishing *Medicago sativa* under four harvest schedules[J]. *Acta Pratacul-turae Sinica*, 2010, 19(1):134-142.
- [9] 刘晓静,张进霞,李文卿,等.施肥及刈割对干旱地区紫花苜蓿产量和品质的影响[J].中国沙漠,2014,34(6):1516-1526. LIU X J, ZHANG J X, LI W Q, et al. Effect of nitrogen and phosphorus addition and cuttings on yield and quality of alfalfa in dry region of Gansu, China[J]. *Journal of Desert Research*, 2014, 34(6):1516-1526.
- [10] 刘艳楠,刘晓静,张晓磊,等.施肥与刈割对不同紫花苜蓿品种生产性能的影响[J].草原与草坪,2013,33(3):69-73, 77. LIU Y N, LIU X J, ZHANG X L, et al. Effect of clipping and fertilization production performance of different alfalfa varieties[J]. *Grassland and Turf*, 2013, 33(3):69-73, 77.
- [11] 杨秀芳,梁庆伟,娜日苏,等.年刈割次数对科尔沁沙地不同休眠级紫花苜蓿品种产量、品质和越冬率的影响[J].草地学报,2019,27(3):637-643. YANG X F, LIANG Q W, NA R S, et al. The effects of cutting times on yield, quality and winter survival rate of the different fall dormancy rating alfalfa in Keerqin sandy land[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(3):637-643.
- [12] 杨恒山,曹敏建,郑庆福,等.刈割次数对紫花苜蓿草产量、品质及根的影响[J].作物杂志,2004(2):33-34. YANG H S, CAO M J, ZHENG Q F. Effects of the number of mowing on the yield, quality and roots of alfalfa[J]. *Crops*, 2004(2):33-34.
- [13] 王立平,赵永志.优质紫花苜蓿需肥规律及施肥管理[J].农业新技术,2003(4):19. WANG L P, ZHAO Y Z. Fertilizer requirement and management of high-quality alfalfa[J]. *New Agricultural Technology*, 2003(4):19.
- [14] 陈昱铭,李倩,王玉祥,等.氮、磷、钾肥对苜蓿产量、根瘤菌及养分吸收利用率的影响[J].干旱区资源与环境,2019,33(7):174-180. CHEN Y M, LI Q, WANG Y X, et al. Effects of N, P, K fertilizers application on yield, rhizobium and nutrient uptake and utilization of alfalfa[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33(7):174-180.
- [15] 柴凤久,许金玲,李红,等.紫花苜蓿施肥试验研究[J].中国草地,2004(2):81-82. CHAI F J, XU J L, LI H, et al. Experimental study on alfalfa fertilization[J]. *Grassland of China*, 2004(2):81-82.
- [16] 刘艳楠,刘晓静.施肥对两个紫花苜蓿品种生产性能及营养品质的影响[J].甘肃农业大学学报,2014,49(1):111-115, 120. LIU Y N, LIU X J. Effect to fertilization on production performance and quality of different varieties of alfalfa[J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2014, 49(1):111-115, 120.
- [17] 何飞,赵忠祥,康俊梅,等.氮磷钾配比施肥对紫花苜蓿草产量及品质的影响[J].中国草地学报,2019,41(5):24-32. HE F, ZHAO Z X, KANG J M, et al. Effects of N, P and K fertilizer on alfalfa hay yield and quality[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2019, 41(5):24-32.
- [18] 邓伟,裘善文,梁正伟.中国大安碱地生态试验站区域生态环境背景[M].北京:科学出版社,2006:1-3. DNEG W, QIU S W, LIANG Z W. Regional ecological environment background of Da'an alkali land ecological test station, China[M]. Beijing: Science Press, 2006: 1-3.
- [19] 栾博宇,何中国,耿慧,等.公农一号生长性能的初步比较分析[J].中国畜禽种业,2014,10(1):25-26. LUAN B Y, HE Z G, GENG H. Preliminary comparative analysis of Gongnong No.1 growth performance[J]. *The Chinese Livestock and Poultry Breeding*, 2014, 10(1): 25-26.
- [20] 李如来,申晓慧,姜成,等.积雪覆盖对苜蓿越冬及返青生长的影响[J].中国草地学报,2016,38(1):67-73, 92. LI R L, SHEN X H, JIANG C, et al. Effect of snow cover on alfalfa over-wintering and turning green[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2016, 38(1):67-73, 92.
- [21] 于辉,刘荣,刘惠青,等.刈割次数对肇东苜蓿生产能力影响的综合评估[J].草业科学,2010,27(4):144-148. YU H, LIU R, LIU H Q, et al. Impact of cutting frequency on the productivity of *Medicago sativa* cv. Zhaodong[J]. *Pratacultural Science*, 2010, 27(4):144-148.
- [22] 国家质量监督检验检疫总局.饲料中粗纤维测定 过滤法:GB/T 6534—2006/ISO 6865:2000[S].北京:中国标准出版社,2006. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Feeding stuffs: Determination of crude fiber content: Method with intermediate filtration: GB/T 6534—2006/ISO 6865:2000[S]. Beijing: China Standards Press, 2006.
- [23] 国家质量监督检验检疫总局.饲料中粗灰分的测定:GB/T 6438—2007/ISO 5984:2002[S].北京:中国标准出版社,2007. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine. Animal feeding stuffs: Determination of crude ash: GB/T 6438—2007/ISO 5984:2002[S]. Beijing: China Standards Press, 2007.
- [24] 中国林业科学研究院林业研究所.森林植物与森林枯枝落叶层全硅、铁、铝、钙、镁、钾、钠、磷、硫、锰、铜、锌的测定:LY/T 1270—1999[S].北京:中国标准出版社,1999. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry. Determination of total silicon, iron, aluminium, calcium, magnesium, potassium, sodium, phosphorus, sulfur, manganese, copper, zinc in forest plant and forest floor: LY/T 1270—1999[S]. Beijing: China Standards Press, 1999.
- [25] MITCHELL M L, CLARK S G, BUTLER K L, et al. Harvest interval affects lucerne (*Medicago sativa* L.) taproot total yield, starch, nitrogen and water-soluble carbohydrates[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2020, 206(5):619-629.
- [26] ARANJUELO I, MOLERO G, ERICE G, et al. Effect of shoot removal on remobilization of carbon and nitrogen during regrowth of nitrogen-fixing alfalfa[J]. *Physiologia Plantarum*, 2015, 153(1):91-104.
- [27] SHEN Y, JIANG H, ZHAI G, et al. Effects of cutting height on shoot regrowth and forage yield of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in a short-

- term cultivation system[J]. *Grassland Science*, 2013, 59(2):73-79.
- [28] TESTA G, GRESTA F, COSENTINO S L. Dry matter and qualitative characteristics of alfalfa as affected by harvest times and soil water content[J]. *European Journal of Agronomy*, 2011, 34(3):144-152.
- [29] ATIS I, CELIKTAS N, CAN E, et al. The effects of cutting intervals and seeding rates on forage yield and quality of alfalfa[J]. *Turkish Journal of Field Crops*, 2019:12-20.
- [30] 孙德智, 李凤山, 杨恒山, 等. 刈割次数对紫花苜蓿翌年生长及草产量的影响[J]. 中国草地学报, 2005(5):33-37. SUN D Z, LI F S, YANG H S, et al. Effects of cutting times on growth and yield of alfalfa in the next year[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2005, (5):33-37.
- [31] 王坤龙, 王千玉, 宋彦军, 等. 刈割次数对紫花苜蓿根系生长及返青的影响[J]. 中国奶牛, 2016(6):48-51. WANG K L, WANG Q Y, SONG Y J, et al. Effect of cutting frequencies on the growth of alfalfa root and spring rate[J]. *China Dairy Cattle*, 2016(6):48-51.
- [32] 迟文峰, 刘丹丹, 李钢, 等. 刈割次数对紫花苜蓿根系中保护酶活性的影响[J]. 中国草地学报, 2006(4):111-114. CHI W F, LIU D D, LI G, et al. Effect of cutting frequencies on protective enzyme activities in root of alfalfa[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2006(4):111-114.
- [33] LIU Z Y, BAOYIN T, LI X L, et al. How fall dormancy benefits alfalfa winter-survival? Physiologic and transcriptomic analyses of dormancy process[J]. *BMC Plant Biology*, 2019, 19(1):205.
- [34] VENTRONI L M, VOLENEC J J, CANGIANO C A. Fall dormancy and cutting frequency impact on alfalfa yield and yield components[J]. *Field Crop Research*, 2010, 119(2/3):252-259.
- [35] BASSO B, RITCHIE J T. Impact of compost, manure and inorganic fertilizer on nitrate leaching and yield for a 6-year maize-alfalfa rotation in Michigan[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 108(4):329-341.
- [36] 王洋, 崔国文, 尹航, 等. 施肥对紫花苜蓿生产性能及营养品质的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(3):793-803. WANG Y, CUI G W, YIN H, et al. Effects of different fertilization schemes on alfalfa performance and nutritional quality[J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(3):793-803.
- [37] LI M, WANG Y, ADELI A, et al. Effects of application methods and urea rates on ammonia volatilization, yields and fine root biomass of alfalfa[J]. *Field Crop Research*, 2018, 218:115-125.
- [38] 赵力兴, 高阳, 李天琦, 等. 施肥对科尔沁沙地苜蓿生长及产草量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(7):136-144. ZHAO L X, GAO Y, LI T Q, et al. Effects of fertilization on growth and grass yield of alfalfa in Horqin sandy land[J]. *Jouranal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(7):136-144.
- [39] 李新乐, 侯向阳, 穆怀彬, 等. 连续6年施磷肥对土壤磷素积累、形态转化及有效性的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(8):218-224. LI X L, HOU X Y, MU H B, et al. P fertilization on effects on the accumulation, transformation and availability of soil phosphorus[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(8):218-224.
- [40] 曾庆飞, 贾志宽, 韩清芳, 等. 施肥对苜蓿生产性能及品质影响的研究综述[J]. 草业科学, 2005(7):8-15. ZENG Q F, JIA Z K, HAN Q F, et al. Review on the effect of fertilization on the production and quality of alfalfa[J]. *Pratacultural Science*, 2005(7):8-15.
- [41] 郭正刚, 刘慧霞, 王彦荣. 刈割对紫花苜蓿根系生长影响的初步分析[J]. 西北植物学报, 2004(2):215-220. GUO Z G, LIU H X, WANG Y R. Effect of cutting on root growth in lucerne[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004(2):215-220.
- [42] 姜慧新, 沈益新, 翟桂玉, 等. 磷肥对紫花苜蓿再生过程中根茬组织非结构性碳水化合物利用的影响[J]. 草业学报, 2009, 18(3):136-141. JIANG H X, SHEN Y X, ZHAI G Y, et al. Effects of phosphate fertilizer on utilization of non-structural carbohydrate in residual tissue of *Medicago sativa* during the early regrowth stage[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(3):136-141.
- [43] 朱珏, 张彬, 谭支良, 等. 刈割对牧草生物量和品质影响的研究进展[J]. 草业科学, 2009, 26(2):80-85. ZHU J, ZHANG B, TAN Z L, et al. Research progress of clipping effect on quality and biomass of grazing[J]. *Pratacultural Science*, 2009, 26(2):80-85.
- [44] 胡安, 康颖, 陈先江, 等. 刈割时间对黄土高原紫花苜蓿产量与营养品质的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(9):57-65. HU A, KANG Y, CHEN X J, et al. Effect of cutting time on the yield and nutritive value of alfalfa on the Loess Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2017, 26(9):57-65.
- [45] 张晓娜, 宋书红, 陈志飞, 等. 紫花苜蓿叶、茎产量及品质动态[J]. 草业科学, 2016, 33(4):713-721. ZHANG X N, SONG S H, CHEN Z F, et al. Effects of growth stage on yield and quality of leaf and stem[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 33(4):713-721.
- [46] 孙启忠, 桂荣. 影响苜蓿草产量和品质诸因素研究进展[J]. 中国草地, 2000(1):58-64. SUN Q Z, GUI R. Factors affecting alfalfa forage yield and quality[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2000(1):58-64.
- [47] 赵云, 谢开云, 杨秀芳, 等. 氮磷钾配比施肥对敖汉苜蓿产量和品质的影响[J]. 草业科学, 2013, 30(5):723-727. ZHAO Y, XIE K Y, YANG X F. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium ratio fertilizer on the the yield and quality of Aohan alfalfa[J]. *Pratacultural Science*, 2013, 30(5):723-727.
- [48] 刘奕嫩, 于洋, 方军. 盐碱胁迫及植物耐盐碱分子机制研究[J]. 土壤与作物, 2018, 7(2):201-211. LIU Y M, YU Y, FANG J. Saline-alkali stress and molecular mechanism of saline-alkali tolerance in plants[J]. *Soils and Crops*, 2018, 7(2):201-211.
- [49] 李佳锐, 张萃雯, 刘化龙, 等. 盐、碱胁迫下水稻苗期地上部Na⁺、K⁺浓度的QTL分析[J]. 华北农学报, 2020, 35(2):35-42. LI J R, ZHANG C W, LIU H L, et al. QTL analysis of Na⁺ and K⁺ concentrations in rice seedling under salt and alkali stress[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2020, 35(2):35-42.
- [50] 陈香来, 潘佳, 陈利军, 等. 施肥对黄土高原紫花苜蓿产量及品质的影响[J]. 草业科学, 2019, 36(12):3145-3154. CHEN X L, PAN J, CHEN L J, et al. Effects of fertilization on hay yield and quality of alfalfa on the Loess Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2019, 36(12):3145-3154.
- [51] 刘忆, 袁玲. 根瘤菌和AM真菌对紫花苜蓿结瘤和产质量的影响[J]. 土壤学报, 2020, 57(5):1292-1298. LIU Y, YUAN L. Effects of rhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi on nodulation, yield and quality of *Medicago sativa*[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2020, 57(5):1292-1298.