



寒地黑土农区紫花苜蓿生产与品质对施肥和刈割频次的响应及效益分析

巩皓, 杨柳, 李丹丹, 刘国富, 肖知新, 吴清莹, 崔国文

(东北农业大学动物科技学院, 哈尔滨 150030)

摘要:【背景】东北寒地黑土区气候寒冷生长期较短, 以往在退化草地或低产田种植紫花苜蓿, 为保证安全越冬, 一般每年只能刈割三茬; 在“粮改饲”背景下, 寒地黑土农区耕地土质相对较肥沃, 田间管理较规范。【目的】通过探究东北寒地黑土农区在合理施肥条件下紫花苜蓿年刈割4茬的可行性, 为寒地黑土农区苜蓿种植提供技术支持。【方法】以种植第二年“东农1号”紫花苜蓿(*Medicago sativa* L. ‘Dongnong No.1’)为试验材料, 在苜蓿春季返青前一次性土壤施肥 $525\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 基础上, 再于每次刈割前15 d喷施自主研发的寒地黑土农区紫花苜蓿专用叶面肥, 进行年刈割4茬和3茬的比较试验, 以不施任何肥为对照, 观测施肥条件下紫花苜蓿年刈割4茬比传统年刈割3茬在产草量、营养品质及越冬率的变化, 并进行经济效益分析, 探讨在东北寒地黑土农区合理施肥条件下苜蓿年刈割4茬的可行性。【结果】施肥可以有效提高苜蓿产草量和质量, 在施肥(土壤底肥+叶面肥)条件下, 苜蓿年刈割4茬和3茬的总干草产量分别为 $13\ 544.44\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $11\ 935.26\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 比对照(不施肥)分别提高了11.45%、10.77%, 平均粗蛋白质含量分别达22.11%、21.68%, 比对照分别提高了8.17%、7.59%。施肥(土壤肥+叶面肥)条件下, 苜蓿年刈割4茬比年刈割3茬的干草产量提高13.48%, 平均粗蛋白质含量提高2%, 并对越冬率影响不大, 仅降低2个百分点, 从96.70%降低为94.84%。苜蓿施肥并年刈割4茬的产值和产投比分别达24 380.01元/ hm^2 和2.05, 比不施肥年刈割3茬纯增收4 851.68元/ hm^2 , 经济效益明显。【结论】在东北寒地黑土农区种植紫花苜蓿, 在合理施肥条件下年刈割4茬, 不但可以获得较高的产草量、牧草质量和经济效益, 而且不影响安全越冬。

关键词: 紫花苜蓿; 寒地黑土农区; 刈割频次; 施肥; 产草量; 营养品质

Response of Alfalfa Production and Quality to Fertilization and Cutting Frequency and Benefit Analysis in Mollisol Agricultural Area in Cold Region

GONG Hao, YANG Liu, LI DanDan, LIU GuoFu, XIAO ZhiXin, WU QingYing, CUI GuoWen

(College of Animal Science and Technology, Northeast Agriculture University, Harbin 150030)

Abstract: 【Background】The climate in the Mollisol area of Northeast China is cold and the growth period is short in the past, alfalfa was planted in degraded grassland or low-yield fields. In order to ensure safe wintering, it is generally only castrated three times a year. Under the background of “grain to feed”, the soil quality of the cultivated land in the Mollisol agricultural area in cold region is relatively fertile, and the field management is relatively standardized. 【Objective】The purpose of this experiment is to explore the feasibility of alfalfa cutting four times a year under the condition of reasonable fertilization in the Mollisol agricultural

收稿日期: 2019-09-03; 接受日期: 2019-12-18

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC0500607)

联系方式: 巩皓, E-mail: gonghao1024@163.com. 通信作者崔国文, Tel: 0451-55190984; E-mail: cgw603@163.com

area in cold region of northeast cold region. 【Method】 The second year of planting (*Medicago sativa* L. “Dongnong No.1”) was used as experimental material to study the one-time fertilization of soil 525 kg·hm⁻² in the alfalfa spring before returning to green. The 525 kg·hm⁻² disposable soil fertilization (the self-developed Mollisol agricultural area in cold region special compound fertilizer, patent application number: 201101193040.0) was studied before the spring return to green, and then sprayed 15 days before each castration. Self-developed alfalfa special foliar fertilizer for Mollisol agricultural area in cold region (patent application number: 201010124670.2), nutrient quality and overwintering rate, and the economic benefit was analyzed. 【Result】 Fertilization can effectively improve the yield and quality of alfalfa. Under the condition of fertilization (soil fertilizer + foliar fertilizer), the annual total hay yield of four and three stubbles of alfalfa was 13 544.44 kg·hm⁻² and 11 935.26 kg·hm⁻², which were 11.45% and 10.77% higher than that of the control, and the average crude protein content was 22.11%, 21.68%, 8.17% and 7.59% higher than that of the control. Increasing the number of cutting times under fertilization (soil fertilizer + foliar fertilizer) can effectively improve the yield and quality of grass, and has little effect on the overwintering rate. Compared with the three cropping, the annual hay yield and the average crude protein content of alfalfa were increased by 13.48% and 2%. And it had little effect on the overwintering rate, only reduced by 2 percentage points, from 96.70% to 94.84%. The output value and input-output ratio of four stubbles of alfalfa with fertilization and annual mowing were 24 380.01 yuan/hm² and 2.05, which increased the net income of three stubbles by 4 851.68 yuan/hm² compared with the three stubbles of alfalfa without fertilization. 【Conclusion】 It is feasible to cut four stubbles of alfalfa under reasonable fertilization conditions in Mollisol agricultural area in cold region by comprehensive comparative analysis.

Key words: alfalfa; Mollisol agricultural area in cold region; cutting frequency; fertilizer; grass yield; nutritional quality

0 引言

【研究意义】东北寒地黑土区是世界三大黑土区之一^[1], 具有较高含量的有机质及肥力, 成为我国最大商品粮生产基地^[2], 在保障国家粮食安全中具有举足轻重的地位^[3]。然而由于近年来寒地黑土被过度开垦开荒导致土壤蓄水保肥能力下降, 土壤有机碳等营养物质含量减少^[4], 水土流失加剧; 同时由于寒地黑土土质地松软、抗蚀能力差, 雨量少而集中加剧了盐碱化等退化现象^[5], 严重影响粮食生产^[6]。因此, 开发具有产量高、品质优良、生态效益好的牧草及种植方式是当前农业和畜牧业发展的迫切需求^[7]。紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 是中国分布最广, 栽培历史最悠久的豆科牧草之一, 其营养价值高、产草量高、用途广泛^[8-10], 具有改善生态环境、改善土壤肥力以及改良盐碱地等作用, 有“饲草之王”的美称^[11-13], 对中国东北地区畜牧业发展和生态环境改善有极其重要的作用^[14]。【前人研究进展】施肥、刈割是在生产中提高牧草产量与品质的常用措施, 增加苜蓿的刈割频次可以提高苜蓿的粗蛋白质、粗灰分含量及营养物质的消化率^[15-17], 降低无氮浸出物和粗纤维的含量, 但是刈割频次过多会抑制苜蓿生长发育、减少变短根系, 降低根内贮藏的营养物质含量, 因而影响苜蓿越冬和翌年的再生^[18]。因此, 适度的刈割频次可以提高紫花苜蓿的产量和品质, 有效增加其再生性和越冬率^[19]。游永亮研究了刈割制度对紫花苜蓿产量和品质的

影响, 结果表明在海河平原应采用年刈割 5 次为最佳, 刈割第一茬草应在现蕾期^[20]。PODVRŠNIK 等^[21]发现秋季刈割过早会显著降低紫花苜蓿干物质含量和粗蛋白含量。刘艳楠等^[22]研究了施肥对两个紫花苜蓿品种生产性能及营养品质的影响, 发现施肥能显著增加紫花苜蓿营养物质含量及显著降低酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量, 显著提高了植物高度。【本研究切入点】东北寒地黑土农区作物生长期只有 139 d 左右^[23], 紫花苜蓿多种植在退化草地开荒、低产田改造的土地, 并且不施加任何肥或只施加少量土壤肥, 导致紫花苜蓿每年只能刈割 3 茬, 草产量显著低于其他刈割多茬的地区。近年来由于“粮改饲”等新政策的实施^[24], 紫花苜蓿可以种植在优质耕地上, 同时施用土壤肥和叶面肥, 并进行田间管理, 为紫花苜蓿刈割 4 茬提供了基础。【拟解决的关键问题】本研究针对当前寒地黑土农区紫花苜蓿生产中存在的刈割利用不合理, 研究施肥和刈割频次对紫花苜蓿产草量、品质及经济效益的影响, 探讨寒地黑土农区紫花苜蓿刈割 4 茬可行性, 为寒地黑土农区苜蓿种植及草牧业的发展提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本研究采用田间种植方法, 于 2018 年 4—10 月在东北农业大学牧草试验基地 (126°73'E, 45°74'N) 进行, 年最高气温 38℃, 最低气温 -30℃, 年平均气温

3.6℃, 年降水量为 400—600 mm, 无霜期 139 d 左右, 年平均风速为 $3.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 属温带大陆性季风气候^[25-26], 试验地土壤类型为黑土, 质地壤土, 0—20 cm 土壤 pH 为 5.45, 有机质含量为 $23.63 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效氮含量为 $128.50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效磷含量为 $10.98 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 速效钾含量为 $136.20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验材料

试验材料为种植第二年的“东农 1 号”紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L. ‘Dongnong No.1’)。肥料为东北农业大学草业科学系自主研发的寒地黑土农区紫花苜蓿专用复合肥 (专利申请号 201810193040.0), 施肥量为 $525 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 寒地黑土农区紫花苜蓿专用叶面肥 (专利申请号: 201810124670.2), 喷施浓度为 0.1%, 喷施量为 $3\ 000 \text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

1.3 试验设计

本试验于 2018 年进行, 采用双因素完全随机区组设计, 播种方式为条播, 小区面积均为 15 m^2 ($3 \text{ m}\times 5 \text{ m}$), 小区间距为 0.6 m, 区组间距为 0.9 m。共设 4 个处理, 每个处理 3 个重复, 共 12 个小区。

在 2018 年 5 月 2 日对苜蓿 (植物) 根部施用复合肥, 叶面肥于每次刈割 15 d 前喷施, 设置不施肥为空白对照。在此基础上设置 3 次刈割和 4 次刈割, 3 次刈割时间分别为 6 月 15 日、7 月 30 日、9 月 15 日; 4 次刈割时间分别为 6 月 5 日、7 月 10 日、8 月 15 日、9 月 20 日。3 次刈割时期均为初花期, 每茬生长时间 45 d; 4 次刈割时期为现蕾期, 每茬生长时间 35 d。

1.4 测定内容及方法

1.4.1 生长指标的测定

株高: 刈割前在每个小区内随机选取 9 株紫花苜蓿, 测定其自然株高与垂直株高。

茎叶比: 每小区随机选取 10 株紫花苜蓿, 将茎叶分离, 在 65°C 下烘干至恒重, 分别测量茎和叶的干重, 计算茎叶比。

草产量: 每小区随机选取 3 行, 每行刈割 2 m, 取样面积为 0.6 m^2 ($2 \text{ m}\times 0.3 \text{ m}$) 留茬高度 10 cm, 3 次重复, 在田间取样后直接称量鲜草重量, 并换算为每公顷鲜草产量。

1.4.2 营养指标的测定 每个小区随机选取 3 行紫花苜蓿, 刈割时留茬高度 5 cm。刈割后的紫花苜蓿混匀取 1 kg 左右, 105°C 杀青 20 min, 65°C 烘干 48 h, 粉碎, 过 60 目筛用于测量营养指标。

粗蛋白质 (CP) 采用凯氏定氮法测定 (Foss 8600

型全自动凯式定氮仪); 中性洗涤纤维 (NDF) 采用范式中性洗涤纤维法测定; 酸性洗涤纤维 (ADF) 采用范式酸性洗涤纤维法测定; 粗灰分 (Ash) 采用高温灼烧法测定; 粗脂肪 (EE) 采用索氏乙醚浸提法测定; 钙 (Ca) 采用高锰酸钾间接测定法测定; 磷 (P) 采用钼锑抗比色法测定。

1.4.3 越冬率的测定 采用随机取样法进行调查, 在每个小区内随机选取具有代表性的样段 3 处, 避开边缘地段, 每样段长 1 m, 做好标记。在越冬前及翌年返青后分别统计样段中植株总数及返青株数 (即翌年返青时存活的植株数), 并计算越冬率。

1.4.4 经济效益的计算方法

产值=苜蓿干草全年总产量 \times 每千克苜蓿干草的价格 (1.80 元/kg);

增收=施肥处理产值-对照处理产值;

肥料成本=底肥成本+叶面肥成本;

纯增收=增收-肥料成本;

产投比=纯增收/肥料成本。

紫花苜蓿专用叶面肥稀释液成本为 0.010 元/L;

紫花苜蓿草捆价格为 1.80 元/kg; 人工+多一次刈割成本为 1 500 元/ hm^2 。经济指标依据黑龙江省实际市场价格。

1.5 数据处理

运用 Microsoft Excel 2010 对原始数据进行统计整理, 使用 IBM SPSS Statistics 21.0 进行双因素方差分析检验施肥、刈割频次及二者交互处理对各指标的影响。用 LSD 法比较处理间在 $P=0.05$ 水平上的差异显著性, 用独立样本 t 检验法比较每茬次处理间在 $P=0.05$ 水平上的差异显著性。

2 结果

2.1 施肥和刈割频次对紫花苜蓿生长和产草量的影响

由表 1 可知, 施肥促进了紫花苜蓿的生长, CK 处理的自然高度、垂直高度和干草产量均显著低于施肥处理。随刈割频次的增加, 自然高度、垂直高度和干草产量呈现了降低的趋势。在茎叶比中, 施肥处理比未施肥处理降低 5.74%—33%。干草产量是反应植株生长的重要的指标之一, 在刈割 3 次和刈割 4 次中第二茬干草产量施肥处理比 CK 处理提高 5.84%和 9.82%, 而刈割 3 次中第三茬和刈割 4 次中第四茬干草产量施肥处理比 CK 处理提高 10.48%和 25.37%, 可见施肥对干草产量的增幅在不同刈割频次下有明显差异。

表 1 施肥和刈割频次对紫花苜蓿生长和产草量的影响

Table 1 Effects of fertilizing and cutting frequency on growth and yield of alfalfa (Mean±SD)

处理 Treatment	刈割频次 Frequency	自然高度 Natural height (cm)	垂直高度 Vertical height (cm)	茎叶比 Stem/leaf ratio	干草产量 Dry yield (kg·hm ⁻²)
CK	3-1	73.11±0.36b	76.17±0.47b	1.23±0.03a	3998.15±32.08b
施肥 Fertilizer ilizer		76.74±1.58a	82.06±2.15a	1.21±0.18a	4627.7±33.33a
CK	3-2	54.91±1.60b	61.59±2.17b	1.16±0.03a	3897.22±80.08b
施肥 Fertilizer		62.86±0.86a	72.25±1.68a	1.03±0.17b	4125± 54.65a
CK	3-3	42.41±0.49b	55.06±4.02b	1.04±0.01a	2879.63±66.74b
施肥 Fertilizer		51.41±0.9a	66.35±0.88a	0.78±0.05b	3181.48±35.72a
CK	4-1	68.19±0.36b	72.54±0.59b	1.29±0.11a	3826.67±113.11b
施肥 Fertilizer		72.53±1.58a	79.00±0.95a	1.22±0.03b	4157.41±66.28a
CK	4-2	65.72±0.61b	73.58±1.30b	1.19±0.01a	4205.56±19.25b
施肥 Fertilizer		72.97±0.07a	79.97±0.94a	1.10±0.01b	4618.52± 47.25a
CK	4-3	60.56±0.85b	75.04±0.38b	1.15±0.01a	2740.74±48.54b
施肥 Fertilizer		65.00±0.54a	79.88±1.82a	1.08±0.02b	3038.89±38.89a
CK	4-4	40.93±1.03b	45.03±1.36b	0.79±0.06a	1379.63±21.03b
施肥 Fertilizer		47.81±1.31a	51.12±0.67a	0.68±0.03b	1729.63±44.91a

CK 表示未施肥；小写字母不同表示同一刈割频次施肥与不施肥处理差异显著 ($P<0.05$)。下同
CK indicates non-fertilizing; different small letters indicate that significant difference between non-fertilizing and fertilizing treatment under the same mowing frequency ($P<0.05$). The same as below

2.2 施肥和刈割频次对紫花苜蓿的营养物质含量的影响

从表 2 可以得出，施肥和刈割频次的增加均提高了植株营养物质含量。在施肥处理下，粗蛋白含量随

着刈割茬次的增加而增高，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量在刈割频次 3 次时呈现下降的趋势，而在刈割频次 4 次时呈现先升高后降低的趋势，其他营养物质含量没有明显规律。在粗蛋白中，刈割 4 次和刈

表 2 不同刈割频次紫花苜蓿的营养物质含量

Table 2 Nutrient content of alfalfa with different cutting frequency (Mean±SD)

处理 Traetment	刈割频次 Frequency	粗蛋白 CP	中性洗涤纤维 NDF	酸性洗涤纤维 ADF	钙 Ca	粗脂肪 EE	粗灰分 Ash
CK	3-1	15.70±0.16a	40.46±0.43a	27.44±0.27a	1.96±0.11b	2.71±0.25b	9.25±0.27a
施肥 Fertilizer		16.09±0.52a	36.12±0.36b	23.12±0.19b	2.26±0.09a	4.15±0.09a	9.63±0.44a
CK	3-2	21.56±0.28b	39.73±0.31a	26.43±0.61a	1.44±0.03a	3.20±0.23b	9.53±0.38b
施肥 Fertilizer		23.25±0.06a	37.60±0.56b	22.98±0.87b	1.46±0.02a	4.09±0.12a	10.53±0.38a
CK	3-3	23.20±0.49b	37.78±0.47a	24.96±0.90a	1.30±0.01a	3.78±0.15b	9.72±0.4b
施肥 Fertilizer		25.70±0.27a	34.19±0.27b	22.19±0.42b	1.34±0.18a	4.39±0.19a	10.43±0.28a
CK	4-1	17.82±0.13b	34.17±0.18a	23.77±0.31a	2.04±0.03b	3.12±0.29b	9.50±0.29b
施肥 Fertilizer		18.58±0.22a	31.85±0.32b	20.74±0.20b	2.17±0.02a	4.27±0.23a	10.17±0.12a
CK	4-2	19.46±0.17b	40.16±0.85a	25.41±0.41a	1.98±0.06b	3.70±0.10a	10.19±0.06b
施肥 Fertilizer		21.23±0.17a	38.49±0.33a	24.72±0.22a	2.15±0.06a	3.98±0.27a	10.75±0.38a
CK	4-3	20.40±0.43b	41.18±0.36a	26.12±0.70a	1.57±0.03b	4.05±0.55b	9.84±0.33a
施肥 Fertilizer		22.57±0.46a	36.66±0.52b	23.68±0.07b	1.72±0.06a	4.52±0.18a	10.00±0.09a
CK	4-4	24.07±0.15b	35.12±0.53a	22.96±0.56a	1.40±0.01b	3.58±0.24b	10.01±0.02a
施肥 Fertilizer		26.39±0.40a	30.40±0.37b	20.17±0.69b	1.65±0.02a	4.96±0.57a	10.86±0.34a

割 4 次中第一茬施肥比未施肥提高不到 1 个百分点，而刈割 3 次和刈割 4 次中第三茬提高 2 个百分点，刈割第四茬植株粗蛋白含量达 26.39%，可见施肥对粗蛋白含量的增幅在不同刈割频次下有明显差异。

2.3 施肥和刈割频次对紫花苜蓿越冬率的影响

由表 3 可以看出刈割 3 次的越冬率为 (96.70±1.20) %，刈割 4 次的越冬率为 90%以上，说明在寒地黑土农区刈割 4 次对于紫花苜蓿的越冬率的影响很小，紫花苜蓿可以越冬。因此，就越冬率而言，在寒地黑土农区紫花苜蓿刈割 4 次合理。

表 3 施肥和刈割频次对紫花苜蓿越冬率的影响
Table 3 Effects of fertilization and cutting frequency on the overwintering rate of alfalfa (Mean±SD)

处理 Treatment	刈割频次 Frequency	越冬率 Over-wintering rate (%)
CK	3	96.07±1.20a
施肥 Fertilizer	3	97.32±0.92a
CK	4	94.62±2.15a
施肥 Fertilizer	4	94.84±0.78a

2.4 施肥和刈割频次对紫花苜蓿全年生长和产草量的影响

施肥显著影响紫花苜蓿的自然高度、垂直高度、茎叶比和干草产量，刈割频次只显著影响了自然高度和干草产量，两因素对紫花苜蓿的垂直高度、茎叶比和干草产量表现出显著的交互作用（表 4）。由图 1 可以得出，紫花苜蓿在刈割 3 次和刈割 4 次时，施肥处理比未施肥可以提高平均自然株高、平均垂直株高、平均茎叶比、总干草产量，刈割 4 次比刈割 3 次的总干草产量显著提高，在未施肥中，刈割 4 次总干草产量比刈割 3 次提高 12.79%，在施肥处理下刈割 4 次比刈割 3 次提高了 13.48%；在平均垂直株高和茎叶比中，刈割 3 次高于刈割 4 次；在平均自然株高中，刈割 4 次高于刈割 3 次；在刈割 3 次施肥处理下紫花苜蓿总干草产量比未施肥提高了 10.77%，刈割 4 次下施肥处理的紫花苜蓿总干草产量比未施肥提高了 11.45%。综合分析可知，在寒地黑土农区草产量方面紫花苜蓿刈割 4 次优于刈割 3 次。

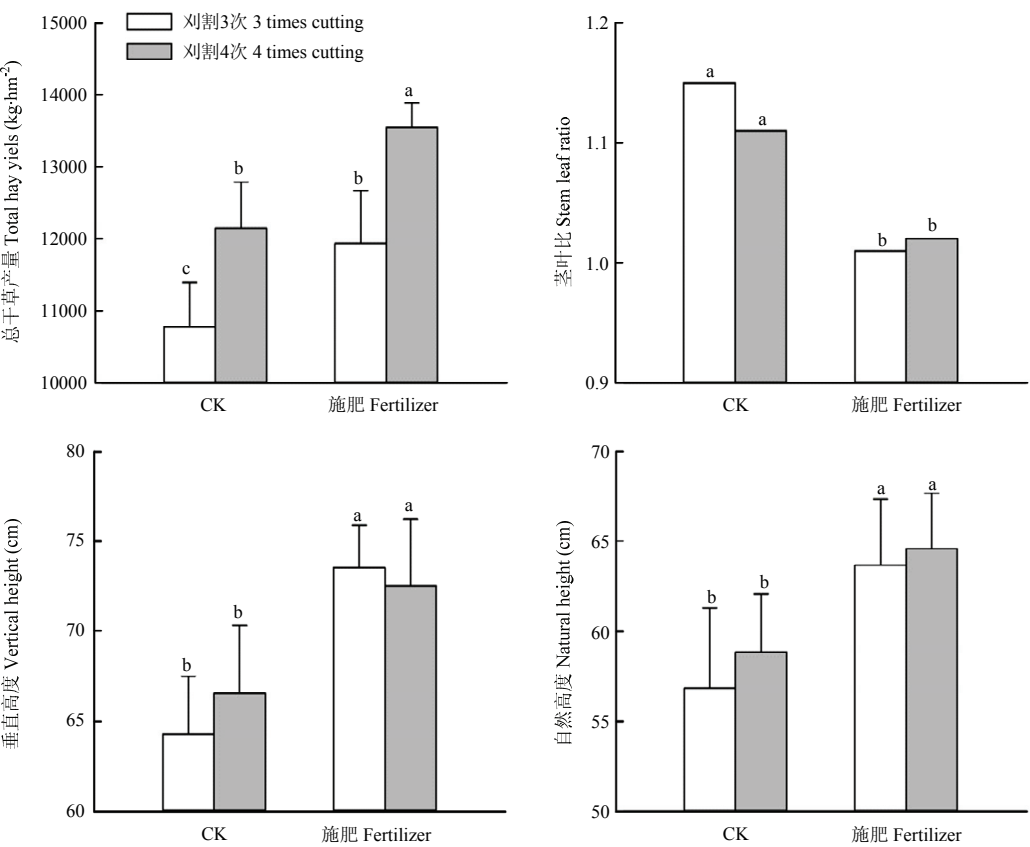


图 1 施肥和刈割频次对紫花苜蓿全年生长和产草量的影响
Fig. 1 Effects of Fertilizing and cutting frequency on annual growth and yield of alfalfa (Mean±SD)

表 4 施肥和刈割频次对紫花苜蓿生长双因素方差分析

Table 4 Two-way ANOVA on the effects of fertilizing and cutting frequency on the growth and yield of alfalfa

	自然高度 Natural height (cm)	垂直高度 Vertical height (cm)	茎叶比 Stem/leaf ratio	干草产量 Dry yield (kg·hm ⁻²)
施肥 Fertilizer	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***
刈割频次 Cutting frequency	0.004**	0.417ns	0.209 ns	<0.001***
施肥×刈割频次 Fertilizer×cutting frequency	0.162ns	0.047*	0.046*	0.008**

* $P=0.05$, ** $P=0.01$, *** $P=0.001$, ns: $P>0.05$ 。下同 The same as below

2.5 施肥和刈割频次对紫花苜蓿营养物质含量的影响

施肥显著影响紫花苜蓿的所有的营养指标，刈割频次显著影响钙、粗脂肪和粗灰分，且两因素对中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维存在显著的交互作用（表

5）。由图 2 可知，刈割 3 次营养物质含量明显低于刈割 4 次，在不同的刈割频次，施肥处理可显著提高紫花苜蓿平均粗蛋白含量、平均钙含量、平均粗脂肪含量，显著降低紫花苜蓿中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维

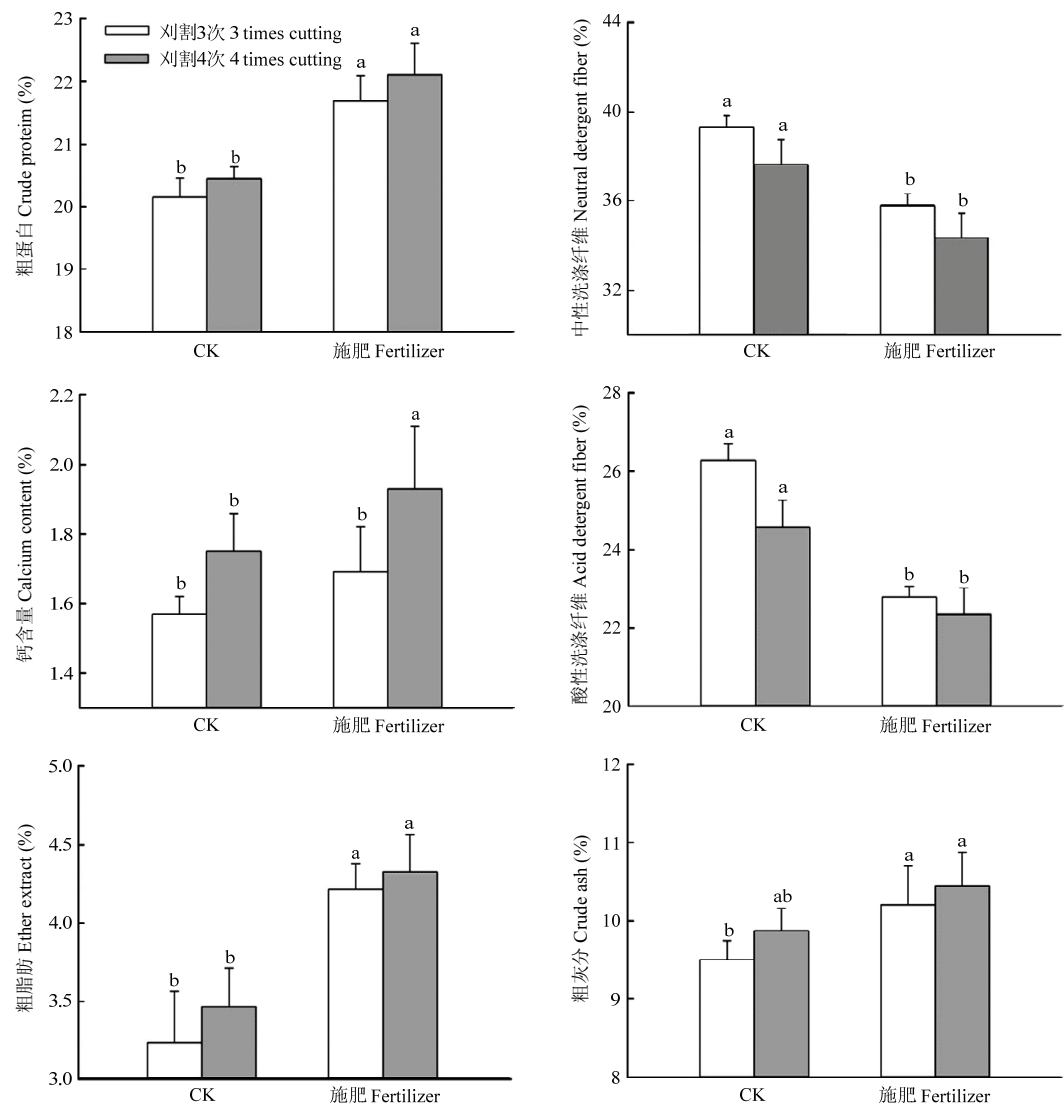


图 2 施肥和刈割频次对紫花苜蓿营养品质的影响

Fig. 2 Effects of fertilizing and cutting frequencies on nutritional quality of alfalfa (Mean±SD)

含量，其中在平均粗蛋白含量中，施肥处理比未施肥提高 7.59%和 8.17%；在中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维中，施肥处理比未施肥处理降低 3.53、3.31 和 3.52、2.24 个百分点；在钙含量和粗脂肪中，施肥处理比未施肥提高 7.64%、10.29%和 30.34%、24.86%；施肥处理对粗灰分无明显影响规律。

2.6 施底肥与喷施叶面肥时，刈割 3 次和 4 次经济效益分析

由表 6 可以得出，C₁ 与 CK 相比，干草总产量提

高 1 159.18 kg·hm⁻²，产值提高 2 086.52 元/hm²，C₁ 的纯增收为 1 986.52 元/hm²，产投比为 19.86，C₂ 与 CK 相比，干草总产量提高 1 377.6 kg·hm⁻²，产值提高 2 479.68 元/hm²，C₂ 的纯增收为 979.68 元/hm²，产投比为 0.65，C₃ 与 CK 相比干草总产量提高 2 769.45 kg·hm⁻²，C₃ 比 CK 增产 25.70%，产值提高 4 985.01 元/hm²，C₃ 的纯增收为 3 351.68 元/hm²，产投比为 2.05。由此可以得出施肥且刈割 4 次的紫花苜蓿较未施肥刈割 3 次的紫花苜蓿的纯增收最高，即经济效益更高。

表 5 施肥和刈割频次对紫花苜蓿营养品质影响的双因素方差分析
Table 5 Two-way ANOVA on the effects of fertilizing and cutting frequency on the nutritional quality of alfalfa

	粗蛋白 CP (%)	中性洗涤纤维 NDF (%)	酸性洗涤纤维 ADF (%)	钙 Ca (%)	粗脂肪 EE (%)	粗灰分 Ash (%)
施肥 Fertilizer	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***	<0.001***
刈割频次 Cutting frequency	0.052ns	0.064ns	0.259ns	<0.001***	<0.001***	0.012*
施肥×刈割频次 Fertilizer×Cutting	0.534ns	0.024*	0.004**	0.07ns	0.393ns	0.503ns

表 6 施肥时不同刈割频次的经济指标情况
Table 6 Economic indicators of different cutting frequency in fertilization

处理 Treatment	干草总产量 Total hay yield (kg·hm ⁻²)	产值 Output value (元/hm ²)	增产 Increase production (%)	增收 Increase in income (元/hm ²)	肥料及人工成本 Fertilizer and labor cost (元/hm ²)	纯增收 Net income (元/hm ²)	产投比 Production/ Investment
CK	10775.00	19395.00	—	—	—	—	—
C ₁	11934.18	21481.52	10.76%	2086.52	100.00	1986.52	19.86
C ₂	12152.60	21874.68	12.79%	2479.68	1500.00	979.68	0.65
C ₃	13544.45	24380.01	25.70%	4985.01	1633.33	3351.68	2.05

CK 表示不施肥刈割 3 次；C₁ 表示施肥刈割 3 次；C₂ 表示不施肥刈割 4 次，C₃ 表示施肥刈割 4 次
CK stands for 3 times of no fertilization and cutting; C₁ stands for 3 times of fertilization and cutting; C₂ stands for 4 times of no fertilization and cutting; C₃ stands for 4 times of fertilization and cutting

3 讨论

紫花苜蓿为多年生豆科牧草^[27]，每年在寒地黑土农区收获 2—4 茬，然而，其在收获时会从土壤里带走大量养分^[28]，导致土壤肥力下降。施肥能改善土壤并提高土壤肥力且是提高紫花苜蓿生长和产草量最有效的措施之一^[29]。株高是表现紫花苜蓿生长发育状况以及决定产草量的重要指标之一，陈萍等^[30]发现施肥能显著提高紫花苜蓿株高，并且第一、二茬株高增长幅度大于第三、四茬。在本研究中发现施肥能促进紫花苜蓿株高的增长，但第三、四茬增长幅度高于第一、二茬，说明施肥可以促进紫花苜蓿株高的增加，使产量得到增加。王洋等^[31]发现适量施肥可以降低紫花苜蓿茎叶比，同类研究还有李星月等^[32]发现施磷肥可显

著降低紫花苜蓿的茎叶比，本研究结果与其相似，这可能是由于紫花苜蓿专用叶面肥促进了茎叶比的降低。孙小富等^[33]研究表明施肥可以显著提高紫花苜蓿单茬的鲜、干草产量，刘晓静等^[34]发现施肥能提高紫花苜蓿当年的产量，这一结论与本研究结果基本一致。优质的紫花苜蓿粗蛋白含量高于 20%，中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量分别低于 40%和 30%^[35]，本研究中施肥下刈割 4 次紫花苜蓿粗蛋白达到 26.39%，中性洗涤纤维 30.4%，酸性洗涤纤维 20.17%。本试验中，不同刈割茬次施肥的处理下除中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维外，其余营养物质含量均有所增加。粗灰分中含有大量矿物质，这些矿物质是构成动物体组织的重要原料，其含量也是评价饲料质量的重要指标^[36]，撒多文等^[37]发现施加有机肥可促进粗蛋白和粗

脂肪的含量,抑制中性酸性洗涤纤维和粗灰分的含量,这与本研究有所不同,本研究中在施肥处理下促进粗灰分含量的增加,这可能是由于在本研究中施用了自主研发的寒地黑土农区多年生牧草专用复合肥及紫花苜蓿专用叶面肥促进了紫花苜蓿中粗灰分含量的增加^[38]。本研究表明,在寒地黑土农区种植紫花苜蓿,根部土壤施用紫花苜蓿专用复合肥并配合喷施叶面肥,能够显著提高紫花苜蓿产量和营养品质。

刈割是紫花苜蓿收获、管理和利用的另一重要手段,刈割频次是否合理直接影响着紫花苜蓿的草产量以及紫花苜蓿后续的生长和品质^[39]。因此,适宜的刈割频次是紫花苜蓿获得优质高产的关键因素^[40]。本研究中未施肥刈割 4 次总干草产量比刈割 3 次提高 12.78%,施肥处理下刈割 4 次总干草产量比刈割 3 次提高 13.49%,于辉^[41]发现紫花苜蓿刈割 4 次干草产量高于刈割 3 次,这与本研究结果相似。优质的紫花苜蓿含有较高的粗蛋白、粗脂肪与粗灰分等营养物质,较低的中性洗涤纤维与酸性洗涤纤维,本试验中紫花苜蓿营养物质含量随茬次增加呈现出增加的趋势,这与杨恒山等^[42]研究发现随着刈割茬次的增加营养物质含量增高趋势的研究结果一致。但是,刈割频次不合理会导致紫花苜蓿越冬率下降,一些研究表明,刈割频次过多会使紫花苜蓿越冬率下降^[43-44],这与本研究有所不同,本研究中刈割 4 次越冬率为 94%以上,紫花苜蓿可以安全越冬,这个结果可能是由于紫花苜蓿的生理特性决定的,苜蓿到了寒冷时期,会停止地上部分的生长而将养分转移至地下根系用以越冬储备^[45]。因此,在寒地黑土农区刈割 4 次可以收获更多的草产量并且对紫花苜蓿越冬率影响不大。

综合本研究结果,在不同刈割频次下施肥处理均比未施肥处理显著提高了干草产量和粗蛋白等营养物质含量,说明紫花苜蓿更适合于生长在土地肥沃的土壤下,紫花苜蓿得到了更充足的养分使植株耐刈割性得到加强。结合产值效益分析,在施肥基础上,刈割 4 次是可行的。

4 结 论

本研究表明,在东北寒地黑土农区,施肥和增加刈割频次均能提高紫花苜蓿干草产量和营养品质。综合生长、产量和效益分析,在东北寒地黑土农区合理施肥条件下,紫花苜蓿年刈割 4 次是可行的,并且不影响其安全越冬。

References

- [1] 刘爱华. 世界三大黑土区. 地理教育, 2006(3): 78.
LIU A H. Three black soil regions in the world. *Education of Geography*, 2006(3): 78. (in Chinese)
- [2] 欧洋, 阎百兴, 白建宏, 陈浩生, 高远, 李绒萱, 高燕, 张延玲, 崔虎. 东北黑土区侵蚀沟危害面积识别研究. 中国水土保持科学, 2018, 16(6): 24-30.
OU Y, YAN B X, BAI J H, CHEN H S, GAO Y, LI R X, GAO Y, ZHANG Y L, CUI H. Identifying the damaged area of gully in black soil region of Northeast China. *Science of Soil and Water Conservation*, 2018, 16(6): 24-30. (in Chinese)
- [3] 马天祥. 黑龙江省粮食生产影响因素研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
MA T X. Research on the analysis of influencing factors of food production in Heilongjiang province[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [4] YANG O U, ROUSSEAU A N, WANG L X, YAN B X. Spatio-temporal patterns of soil organic carbon and pH in relation to environmental factors-A case study of the black soil region of Northeastern China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2017, 245.
- [5] 徐晓斌, 王清. 我国黑土退化研究现状与展望. 地球与环境, 2005(S1): 588-592.
XU X B, WANG Q. Research status and prospect of black soil degradation in China. *Earth and Environment*, 2005(S1): 588-592. (in Chinese)
- [6] 史彦林, 陈生永, 刘建新, 樊华. 东北黑土区不同耕作措施保水保土效应研究. 中国水土保持, 2019(1): 47-49.
SHI Y L, CHEN Y S, LIU J, FAN H. Effects of soil and water conservation through different tillage measures in black soil region of Northeastern China. *Soil and Water Conservation in China*, 2019(1): 47-49. (in Chinese)
- [7] 芦奕晓, 牟乐, 杨惠敏. 豆科与禾本科牧草混播改良土壤的研究进展. 中国草地学报, 2019, 41(1): 94-100.
LU Y X, MU L, YANG H M. Advances in improved soil fertility with legume-grass mixtures. *Chinese Journal of Grassland*, 2019, 41(1): 94-100. (in Chinese)
- [8] 戚志强, 王永雄, 胡跃高, 曾昭海. 当前我国苜蓿产业发展的形势与任务. 草业学报, 2008, 17(1): 107-113.
QI Z Q, YU Y X, HU Y G, ZENG Z H. Current status and future tasks of the *Medicago sativa* industry in China. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008, 17 (1): 107-113. (in Chinese)
- [9] 张奔, 周敏强, 王娟, 蒲毅, 张丽, 袁明龙. 我国苜蓿害虫种类及

- 研究现状. 草业科学, 2016, 33(4): 785-812.
- ZHANG B, ZHOU M Q, WANG J, PU Y, ZHANG L, YUAN M L. Species checklist and research status of alfalfa insect pests reported in China. *Pratacultural Science*, 2016, 33(4): 785-812. (in Chinese)
- [10] 高宪儒, 李飞, 惠文. 不同紫花苜蓿品种在陇东地区的引种表现. 草业科学, 2016, 33(4): 731-738.
- GAO X R, LI F, HUI W. Performance of introduced alfalfa cultivars in Longdong Region, Gansu. *Pratacultural Science*, 2016, 33(4): 731-738. (in Chinese)
- [11] 魏忠平, 邢兆凯, 于雷, 韩友志, 潘文利, 刘畅, 龙丛英. 北方泥质海岸盐碱地种植牧草肥土效果研究. 辽宁林业科技, 2009(2): 8-10.
- WEI Z P, XING Z K, YU L, HAN Y Z, PAN W L, LIU C, LONG C Y. Study on the fertility effect of planting herbage grass on saline-alkaline land of silting coastal area on northern China. *Liaoning Forestry Science and Technology*, 2009(2): 8-10. (in Chinese)
- [12] 张玉发, 王庆锁, 苏加楷. 试论中国苜蓿产业. 中国草地, 2000, 22(1): 64-69.
- ZHANG Y F, WANG Q S, SU J K. On commercialization of alfalfa in China. *Grassland of China*, 2000, 22(1): 64-69. (in Chinese)
- [13] 孙建平, 张志华, 董宽虎. 晋北地区不同紫花苜蓿品种生产性能比较. 草业科学, 2016, 33(11): 2300-2305.
- SAN J P, ZHANG Z H, DONG K H. Production performance comparison of different alfalfa varieties in north Shanxi. *Pratacultural Science*, 2016, 33(11): 2300-2305. (in Chinese)
- [14] 朴庆林, 陈自胜. 种植紫花苜蓿治理黑土地水土流失的建议. 吉林畜牧兽医, 2005(9): 24-26.
- PIAO Q L, CHEN Z S. Suggestions on soil and water loss control of black soil by planting alfalfa. *Jilin Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2005(9): 24-26. (in Chinese)
- [15] 王桂良, 王守红, 寇祥明, 张家宏, 何榕, 毕建花, 朱凌宇, 杨建春, 王艳. 刈割次数对林下黑麦草产量与品质的影响. 中国农学通报, 2017, 33(36): 93-98.
- WANG G L, WANG S H, KOU X M, ZHANG J H, HE R, BI J H, ZHU L Y, YANG J C, WANG Y. Clipping times: Effects on yield and quality of ryegrass planted under trees. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(36): 93-98. (in Chinese)
- [16] 孙亮, 龙忠富, 张瑜, 高碧荣, 李娟. 黔饲 1 号小黑麦适宜刈割次数及刈割期研究. 贵州畜牧兽医, 2016, 40(4): 57-62.
- SUN L, LONG Z F, ZHANG Y, GAO B R, LI J. Study on cutting periods and cutting frequency of triticale Qiansi No. 1. *Guizhou Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2016, 40(4): 57-62. (in Chinese)
- [17] 张鲜花, 穆肖芸, 董乙强, 朱进忠. 刈割次数对不同混播组合草地产量及营养品质的影响. 新疆农业科学, 2014, 51(5): 951-956.
- ZHANG X H, MU X Y, DONG Y Q, ZHU J Z. Effect on the yield and nutrition quality of the mixed grassland with different cutting frequencies. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2014, 51(5): 951-956. (in Chinese)
- [18] 杨秀芳, 梁庆伟, 娜日苏, 张晴晴, 潘翔磊, 刘荣霞. 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. 草地学报, 2019, 27(3): 637-643.
- YANG X F, LIANG Q W, NA R S, ZHANG Q Q, PAN X L, LIU R X. The effects of cutting times on yield, quality and winter survival rate of the different fall dormancy rating alfalfa in Keerqin sandy land. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(3): 637-643. (in Chinese)
- [19] 王显国, 韩建国. 刈割对紫花苜蓿生殖生育期的调控及对种子产量和质量性状的影响. 草地学报, 2005, 13(4): 274-277.
- WANG X G, HAN J G. Effect of Cutting on reproductive growth stage, the seed yield and seed quality of alfalfa (*Medicago Sativa* L.). *Acta Agrestia Sinica*, 2005, 13(4): 274-277. (in Chinese)
- [20] 游永亮, 赵海明, 李源, 武瑞鑫, 刘贵波. 刈割制度对海河平原区紫花苜蓿产量和品质的影响. 中国草地学报, 2018, 40(6): 47-55.
- YOU Y L, ZHAO H M, LI Y, WU R X, LIU G B. Effects of cutting system on the forage yield and quality of alfalfa in Haihe plain area. *Chinese Journal of Grassland*, 2018, 40(6): 47-55. (in Chinese)
- [21] PODVRŠNIK M, GSELMAN A. The effect of late autumn cutting of lucerne (*Medicago sativa* L.) on the growth rhythm of the first cut in the following year. *Nephron Clinical Practice*, 2016, 13(1/2): 87-95.
- [22] 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. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(1): 111-115+120.
- LIU Y N, LIU X J. Effect of fertilization on production performance and quality of different varieties of alfalfa. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2014, 49(1): 111-115+120. (in Chinese)
- [23] 宁晓菊, 张丽君, 杨群涛, 秦耀辰. 1951 年以来中国无霜期的变化趋势. 地理学报, 2015, 70(11): 1811-1822.
- NING X J, ZHANG L J, YANG Q T, QIN Y C. Trends in the frost-free period in China from 1951 to 2012. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(11): 1811-1822. (in Chinese)
- [24] 卢欣石. “粮改饲”推进草牧业发展. 饲料与畜牧, 2018(4): 5-7.
- LU X S, “Food to Feed” to promote the development of grassland and animal husbandry. *Feed and Animal Husbandry*, 2018(4): 5-7. (in Chinese)
- [25] 顾红, 高永刚, 刘丹, 于瑛楠, 董杰. 黑龙江省近 43a 积温和降水的变化对农业的影响. 黑龙江气象, 2007(4): 4-7.
- GU H, GAO Y G, LIU D, YU Y N, DONG J. Effect of change of accumulated temperature and precipitation on agriculture over forty

- three years in Heilongjiang province. *Heilongjiang Meteorology*, 2007(4): 4-7. (in Chinese)
- [26] 闫得朋, 巩林, 袁玉莹, 多田琦, 王洋, 刘国富, 肖知新, 崔国文. 不同时期喷施叶面肥对紫花苜蓿生长和、产草量营养品质的影响. *草地学报*, 2018, 26(5): 1255-1261.
- YAN D P, GONG L, YUAN Y Y, DUO T Q, WANG Y, LIU G F, XIAO Z X, CUI G W. Effects of spraying foliar fertilizer on alfalfa growth, grass yield, and nutrient quality at different stages. *Acta Agrestia Sinica*, 2018, 26(5): 1255-1261. (in Chinese)
- [27] 谢开云, 何峰, 李向林, 韩冬梅, 万里强. 我国紫花苜蓿主产田土壤养分和植物养分调查分析. *草业学报*, 2016, 25(3): 202-214.
- XIE K Y, HE F, LI X L, HAN D M, WAN L Q. Analysis of soil and plant nutrients in alfalfa fields in China. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(3): 202-214. (in Chinese)
- [28] 赵力兴, 高阳, 李天琦, 王琳, 王显国, 高凯. 施肥对科尔沁沙地苜蓿生长及产草量的影响. *中国农业科技导报*, 2019(7): 136-144.
- ZHAO L X, GAO Y, LI T Q, WANG L, WANG X G, GAO K. Effects of fertilization on growth and grass yield of alfalfa in Horqin Sandy Land. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019(7): 136-144. (in Chinese)
- [29] 侯湃, 刘自学, 刘艺杉, 苏爱莲, 王跃栋. 北京平原区紫花苜蓿施肥组合试验. *草业科学*, 2014, 31(1): 144-149.
- HOU B, LIU Z X, LIU Y B, SU A L, WANG Y D. Screening of fertilization combination for alfalfa in Beijing area. *Pratacultural Science*, 2014, 31(1): 144-149. (in Chinese)
- [30] 陈萍, 沈振荣, 迟海峰, 杨东海, 谷传申, 杜婉君, 鲍举文. 不同施肥处理对紫花苜蓿产量和株高的影响. *作物杂志*, 2013(1): 91-94.
- CHEN P, SHEN Z R, CHI H F, YANG D H, GU C S, DU W J, BAO J W. Effects of different fertilization on output and plant height of alfalfa. *Crops*, 2013(1): 91-94. (in Chinese)
- [31] 王洋, 崔国文, 尹航, 杨柳, 张亚玲, 闫得朋, 巩林. 施肥对紫花苜蓿生产性能及营养品质的影响. *草业科学*, 2019, 36(3): 793-803.
- WANG Y, CUI G W, YIN H, YANG L, ZHANG Y L, YAN D P, GONG L. Effects of different fertilization schemes on alfalfa performance and nutritional quality. *Pratacultural Science*, 2019, 36(3): 793-803. (in Chinese)
- [32] 李星月, 孟凯, 肖燕子, 韩亚琼, 富海江, 米福贵. 配方施肥对苜蓿茎叶比和鲜干比的影响. *草原与草业*, 2015, 27(4): 32-39.
- LI X Y, MENG K, XIAO Y Z, HAN Y Q, FU H J, MI F G. The effect of fertilizing with formula on stem leaf ratio and ratio of dry-and-wet weight of alfalfa. *Grassland and Prataculture*, 2015, 27(4): 32-39. (in Chinese)
- [33] 孙小富, 郝俊, 赵丽丽, 黄莉娟, 任敏敏. 喀斯特地区不同施肥配
- 比对紫花苜蓿单茬产量及形态构建的影响. *草业科学*, 2019, 36(1): 123-131.
- SUN X F, HAO J, ZHAO L L, HUANG L J, REN M M. Effect of different fertilization on the batch yield and morphological structure of *Medicago sativa* in a Karst area of Guizhou, China. *Pratacultural Science*, 2019, 36(1): 123-131. (in Chinese)
- [34] 刘晓静, 张进霞, 李文卿, 范俊俊. 施肥及刈割对干旱地区紫花苜蓿产量和品质的影响. *中国沙漠*, 2014, 34(6): 1516-1526.
- LIU X J, ZHANG J X, LI W Q, FAN J J. Effects of nitrogen and phosphorus addition and cuttings on yield and quality of alfalfa in dry region of Gansu, China. *Journal of Desert Research*, 2014, 34(6): 1516-1526. (in Chinese)
- [35] 陈谷. 美国商业应用中的紫花苜蓿质量及质量标准. 农业部草原监理中心、中国草学会. 2009 中国草原发展论坛论文集, 2009: 5.
- CHEN G. Quality and quality standards of alfalfa in American commercial applications//*Proceedings of the Chinese grass Society Conference*, 2009: 5. (in Chinese)
- [36] 肖红, 马富华, 王粉琴, 李应科, 戎郁萍. 紫花苜蓿青贮饲料粗灰分含量的近红外评定方法研究. *黑龙江畜牧兽医*, 2018(21): 140-144.
- XIAO H, MA F H, WANG F Q, LI Y K, RONG Y P. Evaluation method for the measurement of crude ash content in the alfalfa silage using FT-NIRS. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2018(21): 140-144. (in Chinese)
- [37] 撒多文, 张新杰, 张仙宝, 布鲁呼木图, 乔旭. 不同施肥处理对紫花苜蓿生产性能的影响. *内蒙古科技与经济*, 2019(5): 84-85.
- SA D W, ZHANG X J, ZHANG X B, BU LU HU MU TU, QIAO X. Effects of different fertilization treatments on production performance of alfalfa. *Inner Mongolia Science Technology & Economy*, 2019(5): 84-85. (in Chinese)
- [38] 格聊生, 张海涛, 刘承军, 刘桂芹. 黄河冲积平原地区不同施肥方式对紫花苜蓿营养品质影响研究. *畜牧与饲料科学*, 2017, 38(1): 52-54.
- GE L S, ZHANG H T, LIU C J, LIU G Q. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization ratio on nutritional quality of alfalfa cultivated in alluvial plain of the Yellow River. *Animal Husbandry and Feed Science*. 2017, 38(1): 52-54. (in Chinese)
- [39] 苏晓菲. 有机肥施量和刈割次数对紫花苜蓿产量和品质的影响. *草学*, 2018(6): 60-64+71.
- SU X F. Effects of organic fertilizer and cutting on the yield and quality of alfalfa. *Journal of Grassland and Forage Science*. 2018(6): 60-64+71. (in Chinese)

- [40] 张进霞, 李文卿, 刘晓静, 叶芳. 施氮对紫花苜蓿生长特性的影响. 草原与草坪, 2014, 34(3): 46-50.
- ZHANG J X, LI W Q, LIU X J, YE F. Effects of different nitrogen levels on alfalfa productivity in different growing years. *Grassland and Turf*, 2014, 34(3): 46-50. (in Chinese)
- [41] 于辉. 刈割次数对紫花苜蓿草产量、品质及抗寒性影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007.
- YU H. Effects of cutting frequency on forage yield and quality and cold tolerance of alfalfa[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- [42] 杨恒山, 曹敏建, 郑庆福, 孙德智, 李凤山. 刈割次数对紫花苜蓿草产量、品质及根的影响. 作物杂志, 2004(2): 33-34.
- YANG H S, CAO M J, ZHENG Q F, SUN D Z, LI F S. Effects of cutting number on yield, quality and root of alfalfa. *Crops*, 2004(2): 33-34. (in Chinese)
- [43] 于辉, 刘惠青, 崔国文. 不同刈割频率下紫花苜蓿品种的越冬率与主根 C/N 比变化. 中国草地学报, 2008(4): 21-24.
- YU H, LIU H Q, CUI G W. Changes in overwintering rate and main-root C/N ratio in alfalfa cultivars at different cutting frequency. *Chinese Journal of Grassland*, 2008(4): 21-24. (in Chinese)
- [44] 孙德智, 李凤山, 杨恒山, 安瑞军, 刘晶. 刈割次数对紫花苜蓿翌年生长及草产量的影响. 中国草地, 2005(5): 33-37.
- SUN D Z, LI F S, YANG H S, AN R J, LIU J. Effects of cutting times on growth and yield of alfalfa in the next year. *Grassland of China*, 2005(5): 33-37. (in Chinese)
- [45] 王伟东, 邓波, 王显国, 高凯, 朱国立. 末次刈割时间对科尔沁沙地苜蓿越冬率及根系营养物质含量的影响. 草地学报, 2017, 25(4): 810-813.
- WANG W D, DENG B, WANG X G, GAO K, ZHU G L. Effect of the last harvest time on over-winter rate and root nutrient content of alfalfa in Horqin Sandy Land. *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(4): 810-813. (in Chinese)

(责任编辑 林鉴非)