

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2018.01.013

不同水肥组合对苜蓿品质的影响

毕舒贻¹, 曹 婧¹, 李 跃¹, 李富祥², 苗丽宏¹, 刘国庆³, 万里强^{1*}, 李向林^{1*}

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193;
2. 贵州省威宁高草地试验站, 威宁 553100; 3. 中国草地学会, 北京 100193)

摘要:本研究试验地位于河北廊坊中国农业科学院国际农业高新技术产业园北京畜牧所试验基地, 采用温室盆栽的试验方法, 探讨不同水肥处理对紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)的营养成分的影响, 试验采取完全随机设计, 设置4种施肥梯度与3种灌水梯度。结果表明:不同水肥处理对苜蓿的N、P、K含量有显著影响, 紫花苜蓿的N、P、K含量都随着施肥量的增大而增加;紫花苜蓿的全年产量与苜蓿的含磷量呈极显著正相关。紫花苜蓿的粗蛋白、粗脂肪含量随着施肥量的增大而增加, 而降低了苜蓿的酸性洗涤纤维含量、中性洗涤纤维含量, 结合几项指标可知, 增加施肥量与高水处理即250 kg·hm⁻²的施肥量与85%~90%田间持水量, 可以提高苜蓿的品质。

关键词:紫花苜蓿; 水肥耦合; 品质

中图分类号:S541

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2018)01-0105-09

Effects of Different Combination of Water and Fertilizer on Alfalfa Quality

BI Shu-yi¹, CAO Jing¹, LI Yue¹, LI Fu-xiang², MIAO Li-hong¹, LIU Guo-qing³,
WAN Li-qiang^{1*}, LI Xiang-lin^{1*}

(1. Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China;
2. Plateau Grassland Test Station of Weining County of Guizhou Province, Weining, Guizhou Province 553100, China;
3. Chinese Grassland Society, Beijing 100193, China)

Abstract: Greenhouse pot experiment was conducted at the Experimental Base of Institute of Animal Sciences of CAAS, Langfang, Hebei Province. The effects of water and fertilizer treatment on quality of alfalfa by completely random design. There are four fertilization gradients and three water gradients. The different water and fertilizer treatment on the content of N, P and K of alfalfa has a significant impact. The contents of N, P and K of alfalfa increased with the increase of fertilization amount. The total yield of alfalfa was positively correlated with the P content of alfalfa. The content of CP and EE of alfalfa increased with the increase of fertilizer application rate, while the content of ADF and NDF was decreased. Compared with several indexes, the best combination of water and fertilizer is 250 kg·hm⁻² fertilizer and 85%~90% of soil holding capacity, can improve the quality of alfalfa.

Key words: Alfalfa; Coupling of water and fertilizer; Quality

紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)作为一种优质的牧草在我国大面积的栽培, 种植面积不断扩大^[1-4], 且种植苜蓿可以获得较高的经济收益和生态效益^[5-7]。在我国半干旱地区进行苜蓿栽培既能保持土壤, 又可解决当地畜牧的饲料问题, 但这类地区的土壤贫瘠且缺水, 始发站畜牧种植的一大障碍。因此, 合理的水肥耦合利用是目前解决这类问题的关键, 质量和产量优良的苜蓿与水肥密切相关, 肥料

中的N、P、K等养分能够显著的调节苜蓿对水分的吸收和利用效率, 合理的水肥耦合技术为目前苜蓿的安全生产提供了可靠的理论和技术保障。

卢德勋^[8]提出评定粗饲料品质分级指数(Grading Index), 分级指数=牧草代谢能×干物质采食量×牧草干物质粗蛋白含量/牧草干物质中性洗涤纤维含量, 为 $GI = ME(MJ/kg) \times DMI(kg/d) \times CP(\%DM) / NDP(\%DM)$, 故苜蓿中的粗蛋白含量与

收稿日期:2017-04-14;修回日期:2018-01-29

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-34)

作者简介:毕舒贻(1992-), 女, 甘肃酒泉人, 硕士研究生, 主要从事饲草生产加工与利用研究, E-mail: bsy9239@163.com; * 通信作者 Author for correspondence, E-mail: wanliqiang@caas.cn; E-mail: lxl@caas.cn

中性洗涤纤维含量是评定其品质的重要指标。在美国商业质量标准显示,粗蛋白含量的高低是衡量紫花苜蓿品质优劣的重要指标,粗蛋白含量高于 20% 的紫花苜蓿才被评定为优质苜蓿,也具有更高的经济价值^[9]。脂肪是能量最高的营养素,其能量含量是碳水化合物与蛋白质的 2.4 倍左右,则苜蓿中粗脂肪含量越高证明其营养价值也越高^[10]。在水分充沛的条件下,砂性土壤所在地区具有很高的生产潜能,近年来研究较多的为粮食与经济类作物的水肥耦合,但对紫花苜蓿水肥耦合的研究尚少有报道。本试验拟在半干旱砂性土壤上对苜蓿水肥耦合效应做研究,在不同施肥、灌水组合下,通过观测苜蓿不同养分元素的含量状况,探讨不同灌水方式、施肥量对苜蓿品质的影响,为实现苜蓿增产提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

试验地处于河北廊坊,中国农业科学院国际农业高新技术产业园北京畜牧所试验基地,该试验地位于廊坊市北部,地理位置为 116°34′60″ E,39°35′44″ N,海拔 25 m,年均气温为 11.9℃,无霜期为 183 天,平均日照数 2 659.6 h。土壤类型为沙壤土,基本化学性质:碱解氮 31.15 mg·kg⁻¹,速效磷 2.17 mg·kg⁻¹,速效钾 85.1 mg·kg⁻¹,有机质 3.73 g·kg⁻¹,全氮

0.376 g·kg⁻¹,全磷 0.512 g·kg⁻¹,全钾 19.5 g·kg⁻¹,铵态氮 8.075 mg·kg⁻¹,硝态氮 26.55 mg·kg⁻¹,pH 为 7.13,全盐 0.636 g·kg⁻¹,田间持水量为 20.5%(体积含水量)。

1.2 试验处理

1.2.1 苜蓿种植 取大田 0~20 cm 表层土 15 kg 拌匀倒入盆中。盆为圆柱形陶瓷盆,直径 20 cm,高 30 cm。苜蓿于 2016 年 5 月初播种,定株 3 株,供试品种为‘康赛’(佰青源公司提供)。

1.2.2 试验设计 试验采取完全随机设计,设置 4 种施肥梯度,记为 F₀、F₁、F₂、F₃,每茬施肥量分别为 0 kg·hm⁻²、125 kg·hm⁻²、187.5 kg·hm⁻²、250 kg·hm⁻²,2016 年 5 月 20 日开始处理时施入与每茬刈割后 15 天施入。施肥时将水溶肥和水按比例混合,用量筒称量后施入;水分设三个梯度,以土壤的相对含水量表示,即为低水 W₁(50%~55%)、中水 W₂(65%~70%)、高水 W₃(80%~85%),用手持土壤水分速测仪检测水分(北京雨根科技公司),共 12 个处理,4 次重复,共计 48 盆。供试肥料为苜蓿专用水溶肥,营养元素含量为:氮(N)9%、磷(P₂O₅)20%、钾(K₂O)13%、硫(SO₃)3.98%、镁(MgO)1.12%、锌(ZnO)0.8%、硼(B₂O₃)0.17%、锰(MnO)0.92%、钼(MoO₃)0.036%),具体试验处理见表 1。土壤相对水分含量以田间持水量的百分比表示。

表 1 试验处理

Table 1 Treatments in the experiment

处理 Treatment	肥料 Fertilizer/ kg·hm ⁻²	土壤相对含水量 Soil water relative content/%	处理 Treatment	肥料 Fertilizer /kg·hm ⁻²	土壤相对含水量 Soil water relative content/%	处理 Treatment	肥料 Fertilizer /kg·hm ⁻²	土壤相对含水量 Soil water relative content/%
F ₀ W ₁	0	50~55	F ₀ W ₂	0	65~70	F ₀ W ₃	0	80~85
F ₁ W ₁	125	50~55	F ₁ W ₂	125	65~70	F ₁ W ₃	125	80~85
F ₂ W ₁	187.5	50~55	F ₂ W ₂	187.5	65~70	F ₂ W ₃	187.5	80~85
F ₃ W ₁	250	50~55	F ₃ W ₂	250	65~70	F ₃ W ₃	250	80~85

注:F 代表施肥处理,W 表示灌水处理,下同

Note:F represents fertilizer treatment, W represents irrigation treatment, the same as below

1.3 测定指标与方法

地上干物质重量测定:初花期(10%的苜蓿开花)刈割时留茬 5 cm,刈割每盆内所有苜蓿,每次刈割前测定鲜草产量,带回实验室后 105℃杀青 15 min 后,65℃烘干至恒重后称量。

植株品质测定:测定苜蓿初花期干草样常规的营养成分,将一部分粉碎的苜蓿样本(叶片及茎,不含根部)用来测定。

N:凯氏定氮法;

P:硫酸—双氧水消化—钼锑抗比色法;

K:硫酸—双氧水消化—原子吸收测定法;

粗蛋白含量(crude protein, CP):硫酸-双氧水消化,气体扩散法测定全氮、全氮乘以 6.25 系数取得粗蛋白含量;

粗脂肪含量(ether extract, EE):石油醚索氏脂肪浸提—残余法;

酸性洗涤纤维(acid detergent fibe, ADF):ADF 酸性洗涤剂法;

中性洗涤纤维含量(neutral detergent fibre, NDF):NDF 中性洗涤剂法。

1.4 数据分析

试验采取完全随机设计,所有试验处理下的数据利用 SAS 9.2 进行单因素、双因素方差分析以及相关性和逐步回归分析。所有图与表格均使用 Excel 2013 进行制作。

2 结果与分析

2.1 水肥对紫花苜蓿干草干草氮含量、磷含量和钾含量的影响

2.1.1 灌水量对紫花苜蓿干草氮含量、磷含量和钾

含量的影响 由图 1 及表 2 可以得出,灌水对苜蓿含氮量无显著影响, W_1 、 W_2 、 W_3 的值分别为 3.399%、3.409%、3.416%,随着灌水量的增加,苜蓿含氮量呈较弱的上升趋势,增幅仅为 0.50%;灌水对苜蓿含磷量无显著影响 ($P=0.1021$), W_1 、 W_2 、 W_3 值分别为 0.281%、0.296%、0.305%, W_3 与 W_1 有显著差异,增长幅度为 8.65%;灌水对苜蓿植株含钾量无显著影响 ($P=0.9362$), W_1 、 W_2 、 W_3 值分别为 2.724%、2.736%、2.711%,随着灌水量的增多,呈先上升后下降的趋势。

表 2 不同水肥处理下苜蓿干草 N、P、K 含量的方差分析

Table 2 Variance analysis of dry alfalfa N、P、K content with different water and fertilizer treatment

N				P				K			
Source	df	F	P	Source	df	F	P	Source	df	F	P
F	3	4.21	0.0125	F	3	25.89	<0.0001	F	3	4.22	0.0124
W	2	0.06	0.9376	W	2	2.45	0.1021	W	2	0.07	0.9362
F×W	6	0.61	0.7179	F×W	6	0.54	0.7756	F×W	6	1.42	0.2365

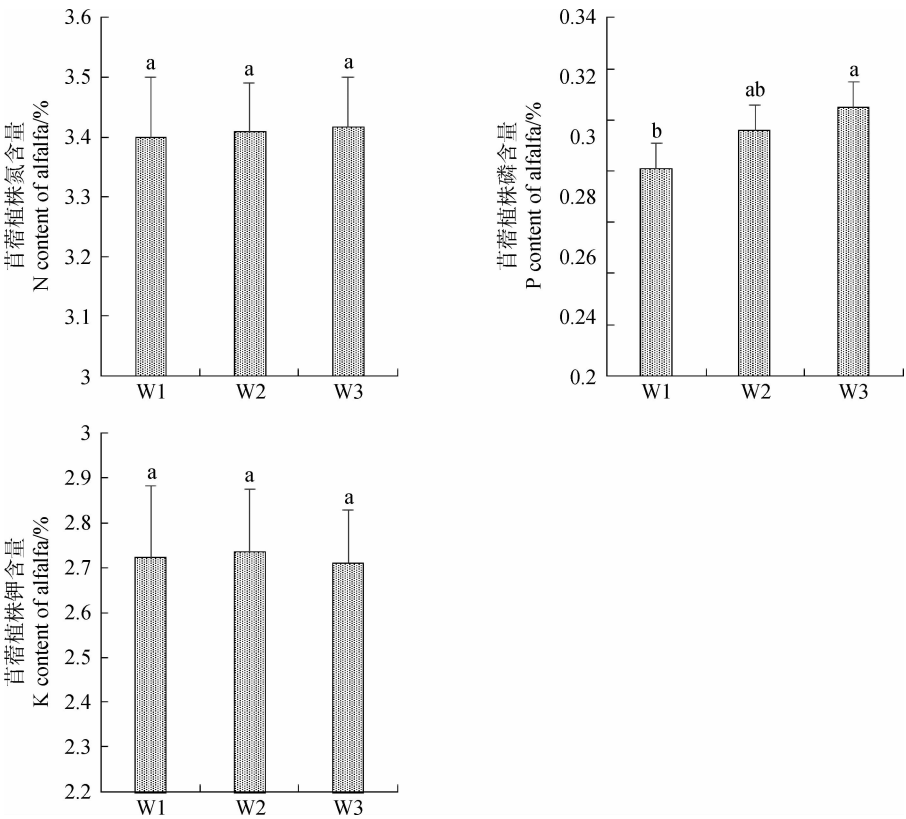


图 1 水分对苜蓿干草含氮量、含磷量、含钾量的影响

Fig. 1 Effects of different water on N、P、K content of dry alfalfa

注:相同字母表示差异不显著,不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著,下同

Note: The different lowercase letter means significant differences at the 0.05 level, the same as below

2.1.2 施肥对紫花苜蓿干草氮含量、磷含量和钾含量的影响 如图 2 所示,结合表 2,紫花苜蓿植株氮含量随着施肥量的增加呈上升趋势, F_0 、 F_1 、 F_2 、 F_3 的值分别为 3.337%、3.347%、3.377%、3.571%, F_3 处理与对照 F_0 差异显著($P<0.05$),增长了 7.30%, F_1 、 F_2 处理与对照无显著差异,分别增长 0.32%、1.20%,增长幅度不大;紫花苜蓿植株的磷含量也随施肥量的增加而增加,3 种施肥处理与对照相比都显

著提高了苜蓿植株的磷含量($P<0.05$),4 个处理下苜蓿的磷含量分别为 0.224%、0.303%、0.322%、0.327%,与对照相比, F_1 、 F_2 、 F_3 三个处理分别提升 35.4%、43.86%、46.12%;同样,施肥也可以显著提高苜蓿植株的磷含量($P<0.05$), F_0 、 F_1 、 F_2 、 F_3 的值分别为 2.446%、2.770%、2.825%、2.853%,与 F_0 相比,3 个施肥处理的增长幅度为 13.26%、15.49%、16.66%,3 个处理间增长幅度相差不大。

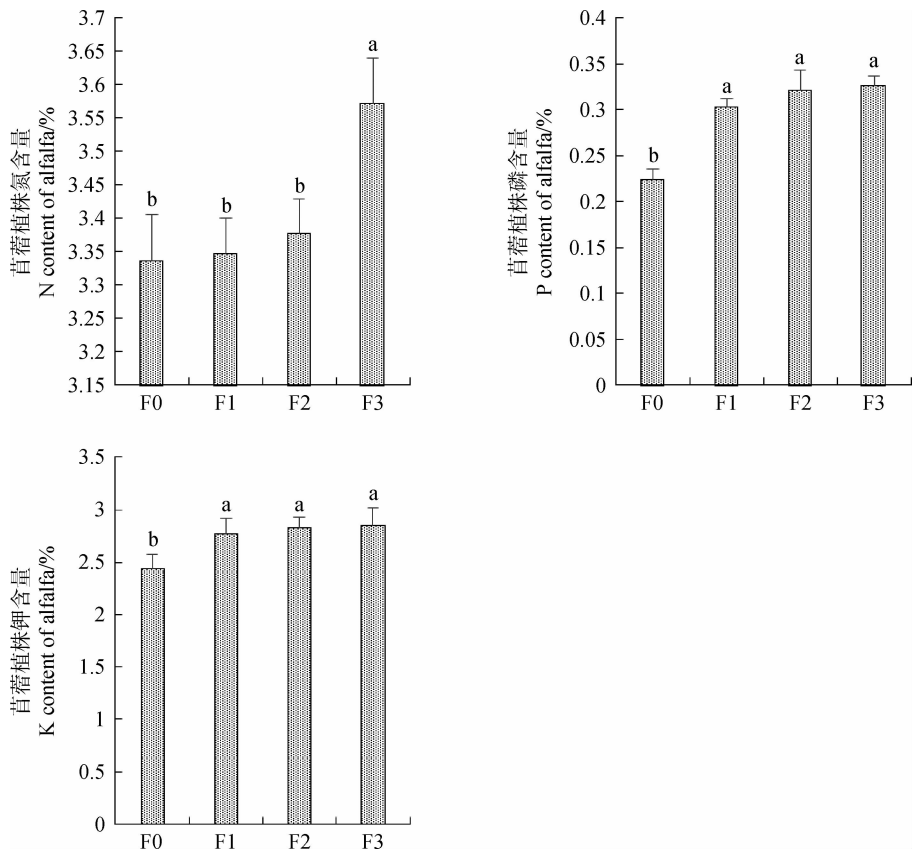


图 2 施肥对苜蓿干草含氮量、含磷量、含钾量的影响

Fig. 2 Effects of different fertilizer treatment on N、P、K content of dry alfalfa

2.1.3 不同水肥组合对紫花苜蓿干草氮含量、磷含量和钾含量的影响 由表 3 可知, F_3W_2 处理下苜蓿的含氮量最高,达到 3.59%,较对照提升了 7.59%, F_3W_3 次之,氮含量与对照相比提高了 6.99%, F_2W_2 处理下苜蓿的含氮量最低,降至 3.36%,较对照相比下降 1.70%,整体比较得出, F_3 下的三个处理显著提高了苜蓿的含氮量。

结合 12 个处理来看,水肥梯度对苜蓿含磷量的

影响有显著差异, F_2W_3 处理下苜蓿的含磷量最高,达到 0.35%,较对照增长了 54.39%, F_1W_3 处理下苜蓿含氮量最低,其值为 0.30%,但也比对照增长了 34.09%。

苜蓿的含钾量受水肥耦合效应的影响,但 9 个水肥耦合处理之间差异并不显著, F_3W_1 处理下的苜蓿含钾量最高,值为 3.12%, F_2W_1 处理下苜蓿含钾量最低,为 2.69%,与对照相比,增幅为 9.98%~27.56%。

表 3 不同水肥处理对苜蓿干草含氮量、含磷量、含钾量的影响

Table 3 Different water and fertilizer treatment effects on dry alfalfa N、P、K content

处理 Treatment	氮 N/%	磷 P/%	钾 K/%
F ₀ W ₁	3.32±0.26 ^{abc}	0.21±0.01 ^c	2.36±0.15 ^d
F ₀ W ₂	3.42±0.10 ^{abc}	0.23±0.01 ^c	2.41±0.23 ^{cd}
F ₀ W ₃	3.27±0.19 ^c	0.24±0.01 ^c	2.57±0.03 ^{abc}
F ₁ W ₁	3.36±0.05 ^{abc}	0.30±0.01 ^{ab}	2.72±0.17 ^{abcd}
F ₁ W ₂	3.34±0.09 ^{abc}	0.31±0.01 ^{ab}	2.87±0.09 ^{abc}
F ₁ W ₃	3.34±0.07 ^{abc}	0.30±0.00 ^{ab}	2.72±0.17 ^{abcd}
F ₂ W ₁	3.36±0.06 ^{abc}	0.30±0.02 ^b	2.69±0.13 ^{abcd}
F ₂ W ₂	3.28±0.06 ^{bc}	0.32±0.02 ^{ab}	2.94±0.07 ^{ab}
F ₂ W ₃	3.48±0.04 ^{abc}	0.35±0.02 ^a	2.84±0.11 ^{abc}
F ₃ W ₁	3.55±0.04 ^{abc}	0.32±0.02 ^{ab}	3.12±0.19 ^a
F ₃ W ₂	3.59±0.08 ^a	0.33±0.01 ^{ab}	2.72±0.16 ^{abcd}
F ₃ W ₃	3.57±0.04 ^{ab}	0.33±0.00 ^{ab}	2.71±0.16 ^{abcd}

2.2 水肥对紫花苜蓿干草粗蛋白、粗脂肪、酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量的影响

2.2.1 灌水对紫花苜蓿干草粗蛋白、粗脂肪、酸性洗涤纤维和中性洗涤纤维含量的影响 由图 3 与表 4 可知,灌水对苜蓿粗蛋白含量无显著影响($P=0.9664>0.05$),W₁、W₂、W₃ 的值分别为 21.24%、21.31%、21.35%,随着灌水量的增加,苜蓿粗蛋白含量呈上升趋势,W₃ 处理下的苜蓿粗蛋白含量最高,与 W₁ 相比,增幅为 0.51%。

苜蓿的粗脂肪含量在施肥处理下显著降低($P<0.05$),随着灌水量的增加苜蓿粗脂肪含量呈下降趋势,W₁、W₂、W₃ 处理的值分别为 3.11%、2.93%、

2.69%,W₃ 处理较 W₁ 处理下降了 13.50%。

W₁、W₂、W₃ 处理下的酸性洗涤纤维含量分别为 29.93%、31.30%、30.57%,随着灌水量的增加,酸性洗涤纤维含量呈先上升后下降的趋势,但灌水对苜蓿的酸性洗涤纤维含量并无显著影响,各施肥梯度上变化不大,W₁~W₃ 处理间的酸性洗涤纤维变化幅度为 4.59%。

灌水对苜蓿中性洗涤纤维含量有显著影响($P<0.05$),W₁、W₂、W₃ 处理下,值分别为 40.20%、42.51%、39.96%,随着灌水量的增加,中性洗涤纤维含量先升高后降低,W₁~W₃ 处理间的中性洗涤纤维变化幅度为 5.98%,与苜蓿酸性洗涤剂的变化规律相同。

表 4 不同水肥处理下苜蓿干草营养成分的方差分析

Table 4 Results of variance analysis in dry alfalfa nutrient content with different water and fertilizer treatment

处理 Treatment		粗蛋白 CP		粗脂肪 EE		酸性纤维 ADF		中性纤维 NDF	
Source	df	F	P	F	P	F	P	F	P
F	3	4.29	0.0116	3.54	0.0252	0.41	0.7461	3.18	0.0366
W	2	0.03	0.9664	3.35	0.0473	1.03	0.3685	2.95	0.066
F×W	6	0.62	0.7154	3.24	0.0129	1.86	0.1182	1.94	0.1026

2.2.2 施肥对紫花苜蓿干草营养成分的影响 结合图 4 与表 4 可知,施肥对苜蓿粗蛋白含量有显著影响($P<0.05$),F₀、F₁、F₂、F₃ 的值分别为 20.85%、20.92%、21.10%、22.32%,随着施肥量的增加,苜蓿粗蛋白含量呈上升趋势,F₃ 下的苜蓿粗蛋白含量最高,与对照相比,增幅为 7.03%,与 F₀、F₁、F₂ 处理都有显著差异,F₁、F₂ 处理与对照相比增幅为 1.20%,并无显著差异。

苜蓿的粗脂肪含量在施肥处理下升高,F₁、F₂、F₃ 处理与对照相比上升幅度为 4.01%~22.34%,三个施肥处理间随着施肥量的增加呈上升的趋势,差异显著($P<0.05$)。

F₀、F₁、F₂、F₃ 处理下的酸性洗涤纤维含量分

别为 30.35%、31.27%、30.61%、30.15%,苜蓿的酸性纤维含量在各施肥梯度上变化不大,随着施肥量的增加,酸性洗涤纤维含量呈先上升后下降的趋势,但施肥对苜蓿的酸性洗涤纤维含量并无显著影响($P=0.7461$),F₁ 处理下的酸性洗涤纤维含量最高,与对照相比增长了 3.04%,F₃ 处理下的酸性洗涤纤维含量最低,较对照下降了 0.64%。

苜蓿中性洗涤纤维含量随着施肥量的增大,F₀、F₁、F₂、F₃ 处理下,值分别为 43.14%、40.92%、40.07%、39.43%,与对照 F₀ 相比,三个施肥处理的降低幅度为 5.14%、7.11%、8.59%,F₂、F₃ 处理与对照 F₀ 处理差异显著($P<0.05$)。

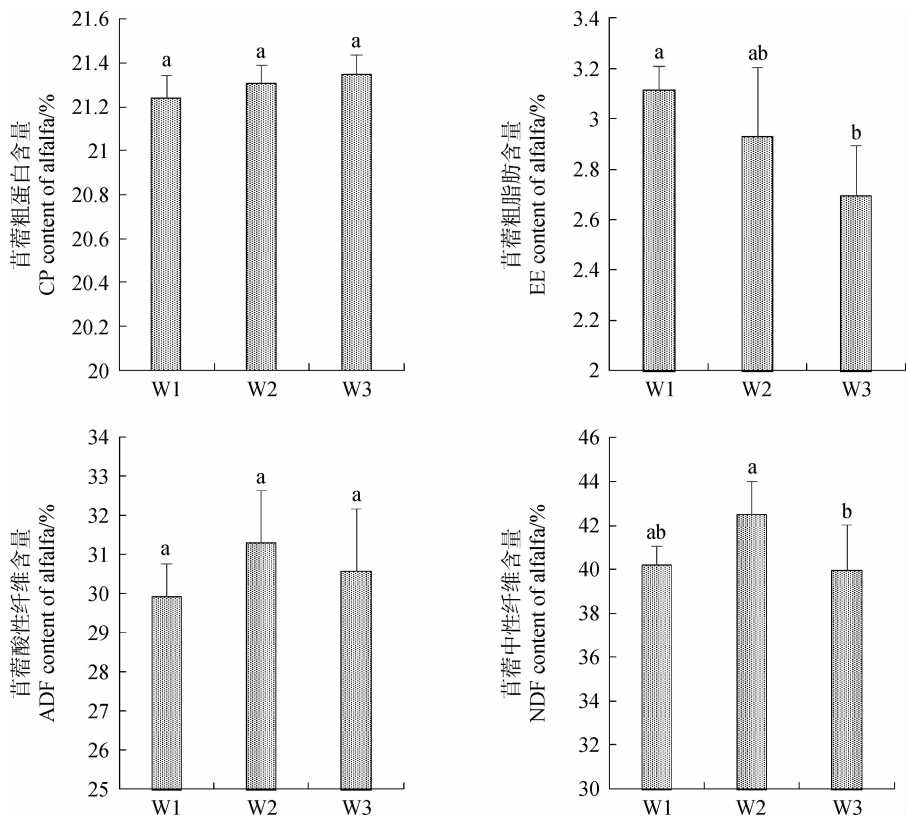


图 3 水分对苜蓿干草营养成分的影响

Fig. 3 Effects of different water treatment on nutrient content of dry alfalfa

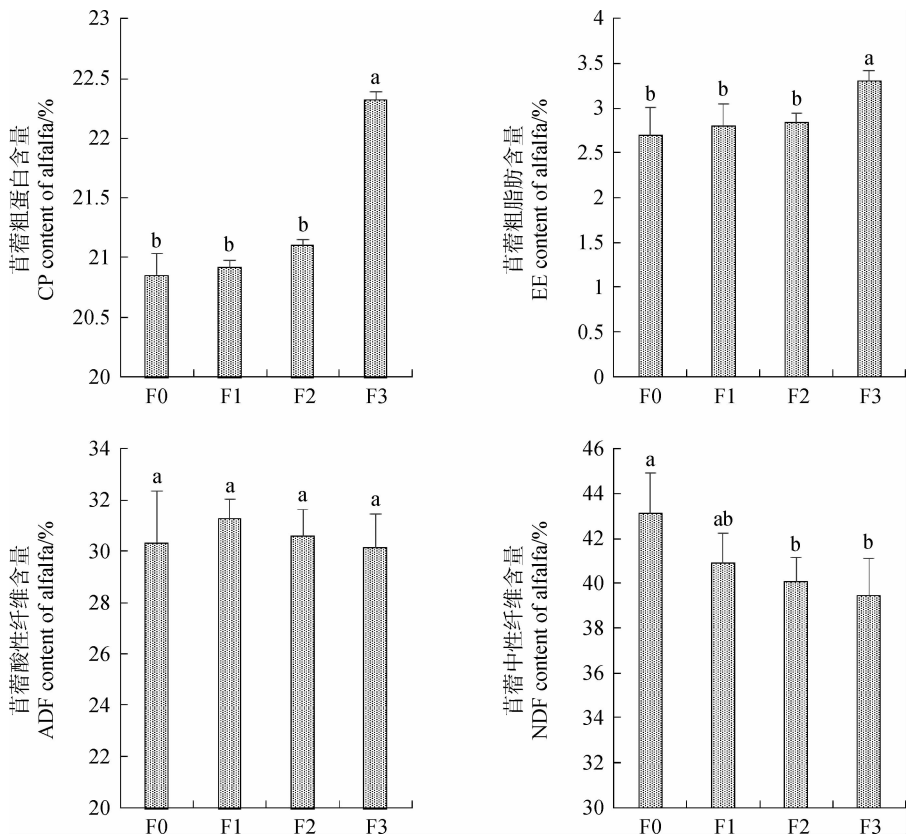


图 4 施肥对苜蓿干草营养成分的影响

Fig. 4 Effects of different fertilizer treatment on nutrient content of dry alfalfa

2.2.3 水肥耦合对紫花苜蓿干草营养成分的影响

由表 5 可以得出,F₃W₂ 处理下苜蓿的粗蛋白含量最高,达到 22.44%,较对照提升了 7.63%,F₃W₃ 次之,氮含量与对照相比提高了 7.10%,F₂W₂ 处理下苜蓿的含氮量最低,降至 20.51%,较对照相比下降 1.63%,整体比较得出,F₃ 下的三个处理显著提高了苜蓿的含氮量,其余处理间并无明显的规律。

12 个处理中,对照 F₃W₁ 处理下苜蓿的粗脂肪含量最高,达到 3.79%,比对照高 40.53%,水肥耦合效应提高了苜蓿的粗蛋白含量,F₂W₃ 处理下苜蓿粗脂肪含量最低,其值为 2.50%,较对照降低了

7.29%。随着施肥量的加大,粗脂肪的含量升高,灌水量对粗脂肪含量的影响为负效应。

水肥处理对苜蓿的酸性洗涤纤维影响不显著,各处理间无明显的变化规律,根据图表可以看出 F₃ 处理下的水肥耦合效应对苜蓿酸性纤维含量有下降的作用,结合 9 个水肥耦合组合来看,苜蓿酸性纤维含量较对照变化幅度为-3.49%~8.27%。

苜蓿中性纤维含量在相同施肥处理下 W₂ 处理下的苜蓿中性洗涤纤维含量最高,12 个处理相比,F₃W₃ 处理下苜蓿中性纤维含量最低,降至 36.32%,与对照相比降低了 15.80%。

表 5 不同水肥处理对苜蓿干草营养成分的影响

Table 5 The content of dry alfalfa nutrition under different water and fertilizer treatment effects

处理 Treatment	粗蛋白 CP/%	粗脂肪 EE/%	酸性纤维 ADF/%	中性纤维 NDF/%
F ₀ W ₁	20.75±1.62 ^{abc}	2.67±0.13 ^c	28.31±1.32 ^a	44.09±0.59 ^a
F ₀ W ₂	21.40±0.62 ^{abc}	2.65±0.05 ^c	29.51±1.26 ^a	44.84±2.39 ^a
F ₀ W ₃	20.41±1.18 ^c	2.77±0.13 ^{bc}	33.23±3.40 ^a	40.48±2.02 ^{ab}
F ₁ W ₁	21.00±0.35 ^{abc}	2.59±0.21 ^c	32.39±0.59 ^a	38.51±0.80 ^{ab}
F ₁ W ₂	20.88±0.54 ^{abc}	2.90±0.21 ^{bc}	31.60±1.67 ^a	43.58±3.35 ^a
F ₁ W ₃	20.88±0.47 ^{abc}	2.94±0.29 ^{bc}	29.82±1.60 ^a	40.67±1.24 ^a
F ₂ W ₁	21.03±0.37 ^{abc}	3.41±0.04 ^{abc}	29.29±0.63 ^a	38.32±1.62 ^{ab}
F ₂ W ₂	20.51±0.36 ^{bc}	2.61±0.13 ^c	32.86±1.28 ^a	42.42±0.59 ^a
F ₂ W ₃	21.77±0.24 ^{abc}	2.50±0.19 ^c	29.69±1.14 ^a	39.47±1.00 ^a
F ₃ W ₁	22.19±0.25 ^{abc}	3.79±0.00 ^a	29.71±0.86 ^a	39.88±0.42 ^{ab}
F ₃ W ₂	22.44±0.53 ^a	3.55±0.72 ^{ab}	31.23±1.17 ^a	42.09±1.67 ^{ab}
F ₃ W ₃	22.33±0.23 ^{ab}	2.57±0.20 ^{bc}	29.51±0.27 ^a	36.32±1.82 ^b

2.3 不同水肥处理对苜蓿干草产量的影响

由图 5 可知,全年总干草产量(三茬)最高的为 F₃W₃ 处理(22.01g·pot⁻¹),F₂W₃ 处理(3.70g·pot⁻¹)次之,总干草产量最低的为 F₀W₂ 处理(12.08·pot⁻¹),各处理下的全年干草产量均高于对照。各施肥处理下,W₁ 与 W₂ 处理对苜蓿全年干草产量的影响并无差异,其中 F₁ 处理下,随着灌水

量的增加,产量缓慢上升,由 15.24 g·pot⁻¹增长到 16.57 g·pot⁻¹,增长幅度为 8.7%;在 F₂ 处理下,随着灌水量的增加,全年干草产量先降低后增加;在 F3 处理下,W₃ 处理与 W₁、W₂ 差异显著,大幅度提高了全年干草产量;在相同施肥处理下,W₃ 处理较 W₁ 与 W₂ 处理高,说明加大灌水量与提高土壤肥力可以有效的增加苜蓿干草产量。

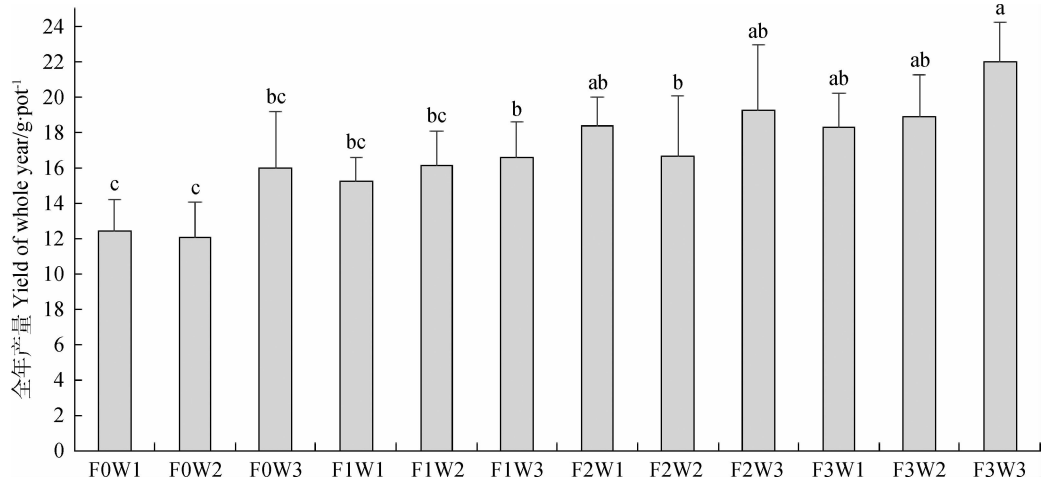


图 5 不同水肥对苜蓿全年干草产量的影响

Fig. 5 Different water and fertilizer treatment effects on alfalfa dry yield

2.4 不同水肥组合下对紫花苜蓿地上部氮累积的影响

氮累积的主要表示方法是以蛋白含量的形式进行的,蛋白含量由粗蛋白含量与产量构成,单位重量的苜蓿营养价值与粗蛋白含量呈正相关关系。从表 6 中得出,苜蓿的全年产量、粗蛋白含量都随着施肥

量的增加呈上升趋势,表现为施肥处理显著高于对照,说明施肥可以增加苜蓿的氮累积量,提高了苜蓿的品质,对施肥量(x)与苜蓿氮累积量(y)进行回归分析,符合一元二次方程 $y = 0.0061x^2 + 0.0382x + 1.176(R^2 = 0.9856)$ 。

表 6 不同水肥处理对苜蓿干草氮累积的影响

Table 6 The nitrogen accumulation of dry alfalfa under different water and fertilizer treatment effects

处理 Treatment	产量 Yield/g · pen ⁻¹	粗蛋白含量 CP/%	粗蛋白总量 Total CP/ g · pen ⁻¹
F ₀ W ₁	12.41 ^c	20.75 ^{abc}	2.57 ^e
F ₀ W ₂	12.08 ^c	21.40 ^{abc}	2.58 ^e
F ₀ W ₃	15.98 ^{bc}	20.41 ^c	3.26 ^d
F ₁ W ₁	15.24 ^{bc}	21.00 ^{abc}	3.20 ^d
F ₁ W ₂	16.17 ^{bc}	20.88 ^{abc}	3.38 ^d
F ₁ W ₃	16.57 ^{bc}	20.88 ^{abc}	3.46 ^d
F ₂ W ₁	18.33 ^b	21.03 ^{abc}	3.85 ^c
F ₂ W ₂	16.64 ^{ab}	20.51 ^{bc}	3.41 ^d
F ₂ W ₃	19.25 ^b	21.77 ^{abc}	4.19 ^b
F ₃ W ₁	18.30 ^{ab}	22.19 ^{abc}	4.06 ^{bc}
F ₃ W ₂	18.90 ^{ab}	22.44 ^a	4.24 ^b
F ₃ W ₃	22.01 ^a	22.33 ^{ab}	4.91 ^a

2.5 紫花苜蓿干草营养成分与全年产量的相关分析及回归方程的建立

2.5.1 不同水肥组合下紫花苜蓿全年产量与营养成分的相关性分析 紫花苜蓿全年三茬产量与营养成分的相关性分析如表 7 所示。苜蓿全

年产量与苜蓿的含磷量呈极显著正相关($P < 0.01$),与苜蓿含钾量呈显著正相关($P < 0.05$),而苜蓿的含氮量、粗蛋白含量、粗脂肪含量、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维与全年的干重产量无任何相关关系。

表 7 营养指标与全年干重的相关性分析

Table 7 Correlation coefficients between alfalfa dry yield and nutrition of alfalfa

氮	磷	钾	粗蛋白	粗脂肪	酸性洗涤纤维	中性洗涤纤维
N	P	K	CP	EE	ADF	NDF
-0.105	0.841**	0.584*	-0.105	0.265	0.210	0.180

2.5.2 不同水肥组合下紫花苜蓿全年产量与营养成分的多元线性回归分析 假设苜蓿含磷量、含钾量与全年干重存在线性回归关系,利用回归分析的方法,建立线性回归方程,假设表达式为: $y = b + a_1x_1 + a_2x_2$,y 表示全年产量,b 为截距, x_1 为含磷量, x_2 为含

钾量, a_1 、 a_2 为系数。结果如表 8 所示,得到的模型显著水平为 0.0006($P < 0.01$),故此方程有统计学意义,根据回归分析的结果得到回归方程 $y = 1.420 + 52.41965x_1$,得出含磷量对苜蓿全年干重的影响较大,解释了 70.83%的苜蓿全年产量的变化。

表 8 多元线性回归方程的系数求解

Table 8 The coefficient solution of multiple linear regression equation

模型	系数估计	标准误	二型平方和	方程的确定性系数	F 值	显著性
Model	Parameter estimate	Standard error	Type II SS	Coefficient of determination	F value	Significance
截距 Intercept	1.420	3.160	0.515	—	0.20	0.6627
含磷量 Content of P	52.41965	10.638	61.885	0.7083	24.28	0.0006

3 讨论与结论

在本试验的处理梯度下,紫花苜蓿干草的含氮量、含磷量与含钾量都随着施肥量的增大而增加,在高施肥量的作用下,苜蓿的含氮量显著大于其他处

理。而苜蓿的含磷量和含钾量在施肥下虽有提高,但处理间效果不显著;灌水对苜蓿 NPK 含量的影响不显著,含氮量变化幅度仅为 0.50%,含钾量变化为 0.92%;苜蓿在高水处理下的含磷量显著高于低水处理;水肥耦合效应对苜蓿的 N、P、K 含量有

显著影响,增加施肥量和低水处理可以使苜蓿的含氮量与含钾量增加,而适量施肥与高水处理可以提高苜蓿的含磷量。苜蓿中的粗蛋白含量与中性洗涤纤维含量是评定其品质的重要指标^[11]。在美国商业质量标准显示,粗蛋白含量的高低是衡量紫花苜蓿品质优劣的重要指标,粗蛋白含量高于 20%的紫花苜蓿才能被评定为优质苜蓿,能具有更高的经济价值^[12]。脂肪是能量最高的营养素,其能量含量是碳水化合物与蛋白质的 2.4 倍左右,苜蓿中粗脂肪含量越高证明其营养价值也越高^[13]。

马孝慧^[14]研究得出,施肥可以提高苜蓿的粗蛋白含量,降低植物纤维含量,与本试验研究结果相似;本试验处理下,紫花苜蓿的粗蛋白、粗脂肪含量随着施肥量的增大而增加,这与刘晓静^[15]的研究结果一致。赵云^[16]研究得出施入氮肥将苜蓿的粗蛋白含量从 17.74%提高至 18.72%,与本试验结果相似。苏亚丽^[17]研究得出,粗脂肪含量随着水肥用量的增加而升高,与本研究结果一致。灌水对苜蓿粗蛋白含量、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维无显著影响,结合四项指标来看,高水处理与增大施肥量可以提高苜蓿的品质。

由试验结果得出,在苜蓿生长的初期,苜蓿需要较高的灌水量来满足其生长需要,全年干草产量随着灌水量的增加而增加。紫花苜蓿虽能自身固氮,但生长初期仅靠自身固氮很难满足其生长需要,本试验增施复合肥料为是一种有机肥料,一方面可以提高磷肥利用率且提高土壤中微量元素的活化程度,另一方面可以调节土壤中的水、肥、气、热状况,改善贫瘠土壤,让其成为良田,还能促进促进微生物的活性^[18],肖金帅^[19]研究发现,N、P、K 配施效果优于单施。郝明德^[20]研究发现,在 NPM 施肥区苜蓿能维持较高的产草量,与本试验结果一致。本试验在水肥互作的作用下提高了苜蓿全年产草量,说明高水处理下有利于肥料的利用,而低水处理下施肥后,不能立即与肥料耦合,不利于肥效的吸收利用,故而在较高的土壤肥力条件下,在苜蓿生长初期加大灌水量可以使苜蓿的产量达到最高。

砂性土壤上,全年干草产量随着灌水量的增加而增加,水肥处理对苜蓿的 N、P、K 含量有显著影响,紫花苜蓿的 N、P、K 含量都随着施肥量的增大而增加;紫花苜蓿的全年产量与苜蓿的含磷量呈极显著正相关,苜蓿的含磷量与全年产量间符合 $y=1.420+52.41965x_1$ 的线性回归关系。紫花苜蓿的粗蛋白、粗脂肪含量随着施肥量的增大而增加,苜蓿

的酸性洗涤纤维含量、中性洗涤纤维含量随着施肥量的增大而降低。结合这几项指标来看,最佳的水肥组合为 F_3W_3 即 $250\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 施肥量与 80%~85%田间持水量。

参考文献

[1] 王亚玲,李晓芳,师尚礼,等. 紫花苜蓿生产性能构成因子分析与评价[J]. 中国草地学报,2007,29(5):8-15

[2] 刘贵河,章杏杏,王堃,等. 氮、磷、钾肥料配施对紫花苜蓿产量的影响[J]. 河北北方学院学报(自然科学版),2005,21(4):32-35

[3] 杨青川,孙彦. 紫花苜蓿在北京市种植业结构调整中的作用[J]. 农业新技术,2000,18(3):38-40

[4] 曾月梅. 调整种植业结构 种植紫花苜蓿 促进农区舍饲畜牧业大发展[J]. 草原与草业,2002(2):17-19

[5] 郭庆魁,乌云飞. 海拉尔区发展人工草地的途径及效益分析[J]. 草原与草坪,2006(3):11-13

[6] 许付仁. 种植苜蓿草的生态环境效益和经济效益分析—苜蓿草在台安县洪家农牧场种植实验[J]. 环境科学与管理,2007,32(1):142-143

[7] 郑家明,王辉,马凤江,等. 辽西地区紫花苜蓿种植利用现状及发展对策[J]. 辽宁农业科学,2004(3):20-22

[8] 卢德勋. 乳牛八大营养工程技术(续)[J]. 饲料广角,2001(11):3-8

[9] 陈谷,郜建辉. 美国商业应用中的紫花苜蓿质量及质量标准[C]//中国苜蓿发展大会,2010

[10] 张健,沈贵平. 不同施肥处理对紫花苜蓿鲜草产量和营养品质的影响研究[J]. 草业与畜牧,2008(9):1-4

[11] 卢德勋. 乳牛八大营养工程技术(续)[J]. 饲料广角,2001(11):3-8

[12] 陈谷,郜建辉. 美国商业应用中的紫花苜蓿质量及质量标准[C]//中国苜蓿发展大会,2010

[13] 张健,沈贵平. 不同施肥处理对紫花苜蓿鲜草产量和营养品质的影响研究[J]. 草业与畜牧,2008(9):1-4

[14] 马孝慧. 施肥对苜蓿产量与品质的影响及其经济效益分析[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学,2005

[15] 刘晓静,刘艳楠,蒯佳林,等. 供氮水平对不同紫花苜蓿产量及品质的影响[J]. 草地学报,2013,21(4):702-707

[16] 赵云,谢开云,杨秀芳,等. 氮磷钾配比施肥对散汉苜蓿产量和品质的影响[J]. 草业科学,2013,30(5):723-727

[17] 苏亚丽,张力君,孙启忠,等. 水肥耦合对散汉苜蓿营养成分的影响[J]. 草地学报,2011,19(5):821-824

[18] 韩文质. 腐植酸类肥料对土壤的改良作用及施用方法[J]. 甘肃农业科技,1997(6):32-33

[19] 肖金帅. 肥料配施对紫花苜蓿产量品质及养分吸收的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2009

[20] 郝明德,张春霞,魏孝荣,等. 黄土高原地区施肥对苜蓿生产力的影响[J]. 草地学报,2004,12(3):195-198