

网络出版时间:2019-07-10 10:35 DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2020.01.005
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20190710.1033.010.html

土壤盐碱度和留茬高度对苜蓿农艺性状及干草品质的影响

于浩然¹,贾玉山¹,刘鹰昊²,王志军³

(1 内蒙古农业大学 草原与资源环境学院 农业部饲草栽培、加工与高效利用重点实验室,内蒙古 呼和浩特 010019;

2 中国农业科学院 草原研究所,内蒙古 呼和浩特 010010;3 内蒙古自治区草原勘察规划院,内蒙古 呼和浩特 010051)

【摘要】【目的】探究土壤盐碱度和留茬高度对苜蓿农艺性状及干草品质的影响,为河套盐碱地区优质草饲“收-加-贮”产业技术提供科学依据。【方法】以非盐碱(S1)、轻度盐碱(S2)、中度盐碱(S3)和重度盐碱(S4)地种植的翌年第一茬初花期(10%植株开花)紫花苜蓿进行刈割,设置 0~2 cm(H1)、2~6 cm(H2)及 6~11 cm(H3)3 个留茬高度,针对土壤盐碱度及留茬高度两个因素设计试验,对不同处理苜蓿的农艺性状(鲜草产量、干草产量、鲜干比、茎叶比)及干草的营养指标(干物质(DM)、粗蛋白(CP)、酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)、相对饲用价值(RFV))进行分析。【结果】随着土壤盐碱度的增加,紫花苜蓿的鲜草产量、干草产量、茎叶比、DM 和 CP 含量及 RFV 值逐渐降低,S1 处理的鲜草产量、干草产量、DM 和 CP 含量及 RFV 均显著高于 S2 和 S3 处理($P<0.05$),但 ADF 和 NDF 均显著低于 S2 和 S3 处理($P<0.05$);随着留茬高度的增加,苜蓿鲜草产量和干草产量呈升高趋势,H3 处理鲜草产量和干草产量均显著高于 H1 和 H2 处理($P<0.05$);H1 处理的鲜干比和茎叶比最高,且其 DM 含量和 RFV 值也显著高于 H2 和 H3 处理($P<0.05$),但 ADF 和 NDF 显著低于 H2 和 H3 处理($P<0.05$),CP 含量以 H3 处理最高;土壤盐碱度和留茬高度的交互作用显著影响了苜蓿的农艺性状和干草品质,S1H1、S1H2、S2H1 和 S2H2 处理的农艺性状和干草品质较好,显著高于其他处理($P<0.05$)。【结论】综合土壤盐碱度和留茬高度两个因素,紫花苜蓿可以在内蒙古河套轻度盐碱地种植,0~2 cm 和 2~6 cm 是该地区紫花苜蓿适宜的留茬高度。

【关键词】 苜蓿;农艺性状;干草品质;土壤盐碱度;留茬高度

【中图分类号】 S541⁺.1

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2020)01-0033-07

Effects of soil salinity and stubble height on agronomical characteristics and hay quality of alfalfa

YU Haoran¹, JIA Yushan¹, LIU Yinghao², WANG Zhijun³

(1 Key Laboratory of Forage Cultivation, Processing and High Efficient Utilization of Ministry of Agriculture, College of Grassland Resources and Environment, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010019, China;

2 Grassland Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Hohhot, Inner Mongolia 010010, China;

3 Inner Mongolia Grassland and Planning Institute, Hohhot, Inner Mongolia 010051, China)

Abstract: 【Objective】 This study explored the effects of soil salinity and stubble height on alfalfa agronomical characteristics and hay quality to provide scientific basis for “harvest-add-store” industrial technology of high quality forage in Hetao saline-alkaline land. 【Method】 The alfalfa grown in non- (S1), light (S2), medium (S3) and severe (S4) saline-alkali soil was mowed at the first flowering stage (10% plants

【收稿日期】 2018-11-23

【基金项目】 国家自然科学基金面上项目(31572461);国家重点研发计划项目(2016YFC0501308);国家牧草产业技术体系项目(CARS-34);内蒙古自治区科技计划项目“内蒙古河套地区盐碱地苜蓿加工调制技术集成与产业化示范”

【作者简介】 于浩然(1994—),男,辽宁阜新人,在读硕士,主要从事苜蓿加工与利用研究。E-mail:hry0049@163.com

【通信作者】 贾玉山(1962—),男,内蒙古赤峰人,教授,主要从事饲草料加工与贮藏研究。E-mail:jys_nm@sina.com

flowering) in the second year and three stubble heights of 0 — 2 cm (H1), 2 — 6 cm (H2) and 6 — 11 cm (H3) were set. Focusing on soil salinity and stubble height, the agronomical characteristics (fresh forage yield, hay forage yield, fresh-dry ratio and stem-leaf ratio) and nutrient indexes (dry matter (DM), crude protein (CP), acid detergent fiber (ADF), neutral detergent fiber (NDF) and relative feeding value (RFV)) of alfalfa were analyzed. 【Result】 With the increase of soil salinity and alkalinity, fresh forage yield, hay forage yield, stem-leaf ratio, DM and CP contents and RFV value of alfalfa decreased gradually. Fresh grass yield, hay forage yield, DM and CP contents and RFV value of S1 treatment were significantly higher than those of S2 and S3 treatments ($P < 0.05$), while ADF and NDF values were significantly lower than those of S2 and S3 treatments ($P < 0.05$). With the increase of stubble height, alfalfa yield of fresh forage and hay forage increased. Alfalfa yield of fresh forage and hay forage in H3 treatment was significantly higher than those in H1 and H2 treatments ($P < 0.05$). The fresh-dry ratio and stem-leaf ratio of H1 treatment were the highest, and their DM content and RFV value were significantly higher than those of H2 and H3 treatments ($P < 0.05$), but the ADF and NDF values were significantly lower than those of H2 and H3 treatments ($P < 0.05$). The CP content of H3 treatment was the highest. The interaction between soil salinity and stubble height significantly affected agronomical characteristics and hay quality of alfalfa. The agronomical characteristics and hay forage quality of S1H1, S1H2, S2H1 and S2H2 treatments were better than those of other treatments ($P < 0.05$). 【Conclusion】 Combining soil salinity and stubble height, alfalfa can be planted in light saline-alkali land in Hetao, Inner Mongolia. The stubble height of 0 — 2 cm and 2 — 6 cm were recommended.

Key words: alfalfa; agronomical characteristics; hay quality; soil salinity; stubble height

土壤盐碱化是引起土地退化、荒漠化的主要因素之一^[1-2]。据统计,全球盐碱地面积超过 8×10^6 km², 仅我国就有 6.7×10^4 km², 约占全国耕地面积的 7%^[3]。土壤盐渍化严重影响了区域生态环境, 限制了土地生产力和资源利用效率, 尤其是河套平原等生态脆弱地区, 因地处内陆, 排水不畅, 导致土壤原生盐碱化与次生盐碱化并存, 盐碱地与盐渍化面积不断增大, 严重制约了农作物的生长发育, 造成盐碱裸地和退化草场土壤裸露等现象^[4-5]。因此, 迫切需要构建草地快速建植与生态产业技术, 研发草畜耦合盐碱地牧草快速建植生态修复技术和“收-加-贮”生态产业链技术, 在不减少粮食产量、不多占用耕地面积的同时为优质饲料资源提供保障, 解决内蒙河套地区盐碱渍化对草饲产业的阻碍, 促进当地农业和畜牧业的可持续发展, 进而保证河套平原生态系统稳定性, 提高土地资源利用率^[6-9]。

紫花苜蓿 (*Medicago sativa* L.) 是一种多年生豆科牧草, 因其栽培历史悠久, 营养价值丰富, 适口性好, 饲喂价值高而被誉为“牧草之王”^[10-12]。目前, 国内对苜蓿农艺性状以及干草品质已进行了多方面的应用研究。魏臻武等^[13]对苜蓿农艺性状和产草量进行了主成分分析, 熊雪等^[14]研究了不均匀盐碱胁迫对苜蓿生长特性的影响, 贾婷婷等^[15]研究了干

燥方式对苜蓿干草品质的影响, 文雅等^[16]筛选出河西走廊地区影响苜蓿干草品质的水氮条件, 李岩等^[17]研究了喷灌条件对苜蓿生长特性及品质指标的影响, 郝凤等^[18]探究了混合盐碱胁迫对苜蓿生理特性的影响, 侯美玲等^[19]对华北地区苜蓿的适时刈割技术进行了研究, 王伟^[20]研究了刈割技术对苜蓿根系及干草品质的影响, 王坤龙等^[21]探究了留茬高度对苜蓿干草品质的影响, 赵霞等^[22]研究了盐碱胁迫对苜蓿生长、品质的影响, 刘东霞等^[23]研究了种植及收获因子对苜蓿干草产量和茎叶比的影响, 刘燕等^[24]探究了紫花苜蓿刈割和晾晒技术规律。苜蓿收获过程技术要求较高, 留茬高度对苜蓿干草产量、干草品质、再生越冬性能、下茬草产量和翌年苜蓿返青率的影响均较为明显^[25]。王坤龙等^[26]研究表明, 留茬高度不当会造成苜蓿下茬或翌年产量大幅度降低, 甚至引起苜蓿草地退化。在我国北方地区, 不当的留茬高度还会造成苜蓿根颈冻死现象, 给苜蓿生产造成巨大经济损失。这些研究都是土壤盐碱胁迫或收获因子或生长条件等单因素对苜蓿生理指标、农艺性状及品质的影响研究, 但在内蒙河套盐碱地区结合土壤条件及收获因子综合分析苜蓿农艺性状和干草品质的研究还鲜有报道。因此, 本研究以内蒙河套盐碱地区种植的翌年第一茬初花期

(10%植株开花)苜蓿进行刈割,探究了土壤盐碱度及留茬高度对苜蓿农艺性状和干草品质的影响,旨在为河套盐碱地区苜蓿“收-加-贮”产业链技术及有效利用盐碱地区土地资源提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验地位于内蒙古巴彦淖尔市乌拉特前旗中部(108°11′—109°54′ E,40°28′—41°16′ N),东临包头市,西接五原县,南与鄂尔多斯市杭锦旗、达拉特旗隔河相望,北与乌拉特中旗接壤。试验地属温带大陆性季风气候,昼夜温差大,雨水集中,雨热同期。年均气温 3.5~7.2℃,年降雨量 200~250 mm,无霜期 100~145 d^[27]。

1.2 供试材料

供试苜蓿种子为中苜 3 号,由中国农业科学院

北京畜牧兽医研究所提供。其特点为耐盐碱性强、适口性佳、消化率高、营养价值丰富,在一般贫瘠土壤都可种植。

1.3 试验设计

采用盐碱度和留茬高度双因素试验设计,盐碱度设非盐碱、轻度盐碱、中度盐碱、重度盐碱(土壤性质见表 1)4 个处理,依次用 S1,S2,S3,S4 表示;留茬高度设 0~2 cm,2~6 cm 和 6~11 cm 3 个处理,依次用 H1,H2,H3 表示,共计 12 个处理,即 S1H1,S1H2,S1H3,S2H1,S2H2,S2H3,S3H1,S3H2,S3H3,S4H1,S4H2,S4H3。每个处理 3 个重复,共计 36 个小区,小区面积 100 m²(10 m×10 m)。苜蓿于 2017 年 6 月播种,分别均匀播种在非盐碱地、轻度盐碱地、中度盐碱地和重度盐碱地中,播种密度 16 kg/hm²。刈割于 2018 年 6 月进行(此时紫花苜蓿正处于初花期)。

表 1 试验地土壤性质
Table 1 Properties of soil in the test site

盐碱度 Salinity	pH	碱化度/% Alkalinity	有机质/ g·kg ⁻¹ Organic matter	全盐量/ (g·kg ⁻¹) Total salt content	Na ⁺ 含量/ (g·kg ⁻¹) Content of Na ⁺	K ⁺ 含量/ (g·kg ⁻¹) Content of K ⁺	SO ₄ ²⁻ 含量/ (g·kg ⁻¹) Content of SO ₄ ²⁻	Cl ⁻ 含量/ (g·kg ⁻¹) Content of Cl ⁻
S1	8.550	1.743	10.895	0.583	0.126	0.025	0.008	0.040
S2	8.902	2.600	14.353	1.055	0.212	0.060	0.014	0.065
S3	9.331	3.093	14.805	1.334	0.323	0.058	0.025	0.139
S4	9.493	8.029	22.754	1.417	0.752	0.062	0.037	0.236

注:S1.非盐碱;S2.轻度盐碱;S3.中度盐碱;S4.重度盐碱。表 2 和表 4 同。
Note:S1. Non saline alkali;S2. Light saline alkali;S3. Medium saline alkali;S4. Severe saline alkali. The same for Table 2 and Table 4.

1.4 测定项目及方法

1.4.1 农艺性状 根据文献[28]中的方法,各小区内的苜蓿刈割后,称苜蓿鲜草质量并换算为单位面积产量(kg/hm²),即为鲜草产量。在每小区中随机取 500 g 苜蓿鲜样,放入 105℃烘箱中杀青 15 min 后转 65℃烘干 48 h,目标含水量 15%,称量其质量即为干草质量;按照“鲜干比=鲜草质量/干草质量”计算鲜干比。将苜蓿样品的茎叶分离后烘干,分别获得茎和叶的干质量,按“茎叶比=茎干质量/叶干质量”计算茎叶比。

1.4.2 营养成分指标 采用烘干恒重法^[29]测定干物质(DM)含量,利用 FOSS KJ2300 全自动凯氏定氮仪^[29]测定粗蛋白(CP)含量,利用 FOSS Fibertee 2010 全自动纤维分析系统^[29]测定中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量(占 DM 的百分比)。

相对饲用价值(RFV)是美国广泛使用的饲草品质评定指标,它是由已测的 NDF 和 ADF 计算得

出,计算公式^[29]如下:

$$\begin{aligned} \text{干物质采食量(DMI)} &= 120/\text{NDF}; \\ \text{可消化干物质(DDM)} &= 88.9 - 0.779 \times \text{ADF}; \\ \text{RFV} &= \text{DMI} \times \text{DDM}/1.29. \end{aligned}$$

1.5 数据处理

利用 Excel 2010 进行试验数据的整理及图表绘制,采用 SPSS 22.0 软件中的一般线性模型进行 Two-way ANOVA 方差分析,采用 Duncan 进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 土壤盐碱度对苜蓿农艺性状的主效应分析

土壤盐碱度对紫花苜蓿农艺性状的影响结果如表 2 所示。由表 2 可知,不同土壤盐碱度下,紫花苜蓿的鲜草产量和干草产量从大到小依次为 S1>S2>S3>S4,其中 S4 处理鲜草产量和干草产量最低,分别为 819.89 和 241.15 kg/hm²,与 S1 和 S2 处理差异显著(P<0.05)。随着土壤盐碱度的增

加,苜蓿鲜干比呈先升后降趋势,其中 S2 处理鲜干比最高(3.40),S4 处理最低(3.16),且 S2 与 S3 和 S4 处理差异显著($P<0.05$)。茎叶比随土壤盐碱度的增加呈逐渐下降趋势,S1 处理茎叶比最高

表 2 土壤盐碱度对苜蓿农艺性状的主效应分析

Table 2 Main effect of soil salinity on agronomical characteristics of alfalfa

盐碱度 Salinity	鲜草产量/(kg·hm ⁻²) Fresh forage yield	干草产量/(kg·hm ⁻²) Hay forage yield	鲜干比 Fresh-dry ratio	茎叶比 Stem-leaf ratio
S1	965.52 a	283.99 a	3.37 a	1.47 a
S2	945.66 b	278.15 b	3.40 a	1.46 a
S3	835.58 c	245.77 c	3.33 b	1.43 ab
S4	819.89 c	241.15 c	3.16 c	1.37 b

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference($P<0.05$). The same below.

2.2 留茬高度对苜蓿农艺性状的主效应分析

由表 3 可以看出,随着留茬高度的增加,苜蓿鲜草产量和干草产量呈升高的趋势,H3 处理鲜草质量和干草质量均最高,分别为 956.05 和 281.20

kg/hm²,比 H1 处理分别增加了 111.87 和 32.90 kg/hm²;鲜干比依次为 H1=H2>H3,H1 和 H2 处理均与 H3 处理差异显著($P<0.05$);茎叶比依次为 H1>H2>H3,且各处理间差异显著($P<0.05$)。

表 3 留茬高度对苜蓿农艺性状的主效应分析

Table 3 Main effect of stubble height on agronomical characteristics of alfalfa

留茬高度 Stubble height	鲜草产量/(kg·hm ⁻²) Fresh forage yield	干草产量/(kg·hm ⁻²) Hay forage yield	鲜干比 Fresh-dry ratio	茎叶比 Stem-leaf ratio
H1	844.18 c	248.30 c	3.40 a	1.58 a
H2	874.60 b	257.29 b	3.40 a	1.49 b
H3	956.05 a	281.20 a	3.14 b	1.24 c

注:H1、H2、H3 依次表示留茬高度为 0~2 cm,2~6 cm,6~11 cm;表 5 同。

Note:H1,H2 and H3 represent stubble heights of 0—2 cm,2—6 cm and 6—11 cm. The same for Table 5.

2.3 土壤盐碱度对苜蓿干草品质的主效应分析

由表 4 可知,随着盐碱度的增加,紫花苜蓿干物质和粗蛋白含量及相对饲用价值(RFV)逐渐降低,其中,S1 处理干物质和粗蛋白含量与其他处理差异显著($P<0.05$);S2 处理粗蛋白含量与 S3 和 S4 处

理差异不显著($P>0.05$);S1 和 S2 处理 RFV 均与 S3 和 S4 处理差异显著($P<0.05$)。随着土壤盐碱度的增加,苜蓿干草中酸性洗涤纤维(ADF)和中性洗涤纤维(NDF)总体呈上升趋势,S1 处理的 ADF 和 NDF 最低,分别为 28.24%和 47.96%。

表 4 土壤盐碱度对苜蓿干草品质的主效应分析

Table 4 Main effect of soil salinity on quality of alfalfa hay

盐碱度 Salinity	干物质/% Dry matter	粗蛋白/% Crude protein	酸性洗涤纤维/% Acid detergent fiber	中性洗涤纤维/% Neutral detergent fiber	RFV
S1	24.95 a	16.41 a	28.24 d	47.96 b	130.97 a
S2	24.18 b	14.97 b	30.51 c	50.35 ab	121.93 b
S3	23.01 c	14.87 b	34.69 a	50.99 a	114.59 c
S4	22.79 d	14.58 b	33.92 b	52.03 a	114.16 c

2.4 留茬高度对苜蓿干草品质的主效应分析

留茬高度对苜蓿干草品质的主效应分析结果如表 5 所示。从表 5 可以看出,苜蓿干物质含量和 RFV 值从高到低依次为 H1>H2>H3,其中,H1 处理干物质含量显著高于 H2 和 H3 处理($P<0.05$);H1 处理 RFV 值与 H2 处理差异不显著($P>0.05$),但 H1 和 H2 处理均与 H3 处理差异显

著($P<0.05$)。随着留茬高度的增加,苜蓿粗蛋白和中性洗涤纤维含量呈升高趋势,H3 处理粗蛋白和中性洗涤纤维含量均与 H1 和 H2 处理差异显著($P<0.05$),但 H1 与 H2 处理间差异不显著($P>0.05$);随着留茬高度的增加,酸性洗涤纤维含量呈先降低再升高的趋势,H3 处理最高(32.79%),H2 处理最低(31.21%)。

表 5 留茬高度对苜蓿干草品质的主效应分析

Table 5 Main effect of stubble height on quality of alfalfa hay

留茬高度 Stubble height	干物质/% Dry matter	粗蛋白/% Crude protein	酸性洗涤纤维/% Acid detergent fiber	中性洗涤纤维/% Neutral detergent fiber	RFV
H1	24.05 a	14.71 c	31.53 b	48.92 b	124.21 a
H2	23.73 b	15.24 b	31.21 b	49.71 b	122.64 a
H3	23.41 c	15.67 a	32.79 a	52.37 a	114.39 b

2.5 土壤盐碱度和留茬高度对苜蓿农艺性状的互作效应分析

由表 6 可知,S2H1 处理鲜草产量和干草产量显著高于其他处理($P<0.05$),分别为 1 136.80 和 334.37 kg/hm²;S4H3 处理最低,分别为 564.26 和 165.97 kg/hm²。S1H1、S1H2、S2H1、S2H2、S2H3、S3H1、S3H2、S4H1 及 S4H2 处理间的鲜干比差异不显著($P>0.05$),但均显著高于 S1H3、S3H3 和 S4H3 处理($P<0.05$)。茎叶比最高的处理为 S1H1,达到了 1.66,且显著高于其他处理($P<0.05$)。这表明土壤盐碱度和留茬高度的交互作用显著影响了苜蓿的农艺性状。

表 6 土壤盐碱度及留茬高度对苜蓿农艺性状的互作效应分析

Table 6 Effect of soil salinity and stubble height interaction on agronomical characteristics of alfalfa

处理 Treatment	鲜草产量/(kg·hm ⁻²) Fresh forage yield	干草产量/(kg·hm ⁻²) Hay forage yield	鲜干比 Fresh-dry ratio	茎叶比 Stem-leaf ratio
S1H1	1 074.27±22.73 b	315.98±6.65 b	3.40±0.00 a	1.66±0.08 a
S1H2	1 030.00±13.02 c	302.96±3.86 c	3.40±0.00 a	1.58±0.02 c
S1H3	986.92±19.33 d	290.29±5.72 d	3.19±0.08 c	1.43±0.05 e
S2H1	1 136.80±12.99 a	334.37±3.82 a	3.40±0.00 a	1.65±0.01 b
S2H2	1 038.77±8.49 c	305.52±2.49 c	3.40±0.00 a	1.56±0.03 d
S2H3	1 042.03±13.59 c	306.48±4.00 c	3.40±0.00 a	1.32±0.01 f
S3H1	848.15±14.46 e	249.46±4.25 e	3.40±0.00 a	1.49±0.03 e
S3H2	758.57±35.78 f	223.11±10.52 f	3.40±0.00 a	1.46±0.03 e
S3H3	783.52±6.45 f	230.47±1.89 f	3.32±0.07 b	1.19±0.03 g
S4H1	764.94±17.12 f	225.00±5.06 f	3.40±0.00 a	1.49±0.04 e
S4H2	671.69±9.09 g	197.57±2.65 g	3.40±0.00 a	1.38±0.04 ef
S4H3	564.26±9.35 h	165.97±2.76 h	2.67±0.04 d	1.00±0.01 h

2.6 土壤盐碱度和留茬高度对苜蓿干草品质的互作效应分析

由表 7 可知,土壤盐碱度和留茬高度的交互作用显著影响苜蓿干草品质,其中 S1H1、S1H2、S1H3、S2H1、S2H2 和 S2H3 处理的干物质含量显著高于其他处理($P<0.05$);粗蛋白含量以 S1H2、S1H3 和 S2H3 处理较高,S4H1、S4H2 和 S4H3 处理较低,且 S4H1 处理显著低于其他处理。酸性洗涤纤维含量以 S4H2 处理最高(41.20%),S2H2 处理最低(22.77%);中性洗涤纤维含量以 S4H3 处理最高(60.97%),S2H1 处理最低(44.61%)。RFV 以 S1H1、S1H2、S2H1 和 S2H2 处理较高,且均显著高于其他处理($P<0.05$)。总体而言,非盐碱地和轻度盐碱地及留茬高度 0~2 cm 和 2~6 cm 的苜蓿干草品质较好。

表 7 土壤盐碱度及留茬高度对苜蓿干草品质的互作效应分析

Table 7 Effect of soil salinity and stubble height interaction on quality of alfalfa hay

处理 Treatment	干物质/% Dry matter	粗蛋白/% Crude protein	酸性洗涤纤维/% Acid detergent fiber	中性洗涤纤维/% Neutral detergent fiber	RFV
S1H1	26.87±0.15 a	16.82±0.12 ab	23.82±0.60 f	45.59±0.12 de	143.53±1.30 a
S1H2	26.37±0.06 a	17.23±0.10 a	23.45±0.38 f	46.23±0.09 de	142.12±0.32 a
S1H3	26.06±0.02 ab	17.92±0.05 a	26.00±0.45 e	47.20±0.05 d	135.39±0.58 b
S2H1	26.49±0.12 a	16.72±0.19 ab	25.16±0.13 e	44.61±0.48 e	144.52±1.70 a
S2H2	26.22±0.12 a	17.02±0.16 ab	22.77±1.55 fg	45.92±0.99 de	144.17±1.54 a
S2H3	25.91±0.14 ab	17.87±0.13 a	27.84±0.82 d	48.96±0.11 cd	127.77±0.37 c
S3H1	22.58±0.84 c	15.51±0.08 b	36.87±0.23 cd	49.60±0.54 cd	112.88±1.52 d
S3H2	21.94±0.81 d	15.53±0.25 b	27.41±0.43 c	50.52±0.62 c	110.05±1.93 d
S3H3	21.76±0.11 d	15.39±0.39 b	38.14±0.32 c	52.37±0.28 c	105.22±0.28 e
S4H1	20.27±0.16 e	9.80±1.40 d	40.26±0.05 b	55.87±2.13 b	95.90±3.67 f
S4H2	20.39±0.37 e	11.18±0.40 c	41.20±0.09 a	56.17±2.69 b	94.23±4.50 f
S4H3	19.92±0.23 e	11.50±0.36 c	39.20±0.06 c	60.97±1.54 a	89.19±1.81 g

3 讨 论

3.1 土壤盐碱度和留茬高度对苜蓿农艺性状的影响

土壤盐碱化已成为抑制植物生长、影响农作物产量和品质的主要逆境之一^[30]。植物农艺性状的变化是对盐碱胁迫的一种综合响应,也可作为植物耐盐能力的评价指标^[31]。本试验中,随着土壤盐碱度的增加苜蓿鲜草质量和干草产量随之降低,这与赵霞等^[22]的研究结果一致,这可能是盐离子的胁迫抑制植物生长造成的。与非盐碱处理相比,轻度盐碱胁迫下苜蓿茎叶比、鲜干比差异不显著,一方面可能是内蒙古河套盐碱地区土壤偏碱性,轻度盐碱土壤盐分含量不是很高;另一方面可能是苜蓿品种本身就具有较强的耐盐碱特性。本研究中,6~11 cm 留茬高度苜蓿的鲜干比和茎叶比最高,这与王坤龙等^[26]、刘燕等^[24]的研究结果相反,说明贴地刈割抑制了苜蓿侧芽生长。这可能是由于河套地区较高的地下水位及土壤盐碱特性差异或是河套内陆地区独特的气候特征所致。因此,深入研究河套盐碱地区苜蓿农艺性状差异,明确盐碱地区苜蓿收获技术与气候特征、土壤特征的关联性,是河套盐碱地区苜蓿今后收-加-贮产业技术链耦合机制的重点。

综合鲜草产量、干草产量、鲜干比及茎叶比等 4 项农艺性状指标,结合盐碱度和留茬高度两个因素,发现 S2H1 处理紫花苜蓿农艺性状较好,S4H3 处理较差,表明土壤盐碱度和留茬高度的交互作用显著影响了苜蓿的农艺性状。本研究发现,中、重度盐碱胁迫对苜蓿的抑制作用要高于轻度盐碱胁迫,轻度盐碱胁迫下苜蓿的农艺性状与非盐碱地种植的苜蓿相差并不显著,表明河套地区苜蓿农艺性状应综合考虑盐碱度和留茬高度两个因素,河套盐碱地区的适宜留茬高度应为 0~2 cm 和 2~6 cm。

3.2 土壤盐碱度和留茬高度对苜蓿干草品质

苜蓿干草品质是评价苜蓿生产的重要指标,苜蓿干草优劣对草原畜牧业的发展至关重要^[15]。其中,CP 和 DM 含量及 RFV 值是评价苜蓿品质的重要指标,其含量越高表明苜蓿品质越好;ADF 和 NDF 是细胞壁的主要成分,其含量越高,表明越难被消化吸收,适口性越差^[15]。本试验结果表明,S1 处理 CP 和 DM 含量及 RFV 值最高,显著高于 S2、S3 和 S4 处理;S1 处理 ADF 和 NDF 含量最低,均明显低于其他盐碱胁迫处理,表明土壤盐碱胁迫降低了苜蓿的品质和营养价值,这与赵霞等^[22]、王运

涛等^[32]的研究结果一致。

本试验中,H1 处理 DM 含量最高,H3 处理 CP 含量最高,H1 和 H2 处理 ADF 和 NDF 含量显著低于 H3 处理,但 RFV 值显著高于 H3 处理,说明留茬高度为 0~2 cm 时,干草品质较好。

土壤盐碱度和留茬高度的交互作用显著影响了苜蓿干草品质。CP 和 DM 含量及 RFV 值均以 S1H1、S1H2、S2H1 及 S2H2 处理较高,而一些难容性物质 NDF 和 ADF 含量又以这些处理较低;S3H1、S3H2、S3H3、S4H1、S4H2 及 S4H3 处理显著降低了苜蓿的 CP、DM 含量和 RFV 值,提高了 ADF 和 NDF 含量。本试验结果表明,在河套盐碱地区发展苜蓿“收-贮-加”产业,应优先考虑土壤状况和留茬高度,非盐碱地和轻度盐碱地适宜种植紫花苜蓿,0~2 cm 和 2~6 cm 为该地区适宜的苜蓿留茬高度。本研究结果对河套盐碱地区苜蓿种植及收获技术具有重要的应用价值,下一步应结合河套地区当地的气象数据,深入探究土壤盐碱度和留茬高度的主次作用,明确主副作用,进而为河套盐碱地区优质草饲产业生态技术的深入研究提供可借鉴的实践参考。

4 结 论

河套地区土壤盐碱胁迫降低了苜蓿的农艺性状和干草品质,非盐碱地种植的紫花苜蓿农艺性状和干草品质最好。综合土壤盐碱度和留茬高度两个因素,在内蒙古河套地区,紫花苜蓿可以在轻度盐碱地种植,适宜的留茬高度为 0~2 cm 和 2~6 cm。

[参考文献]

- [1] 唐晓倩,白应飞,刘广亮,等. NaCl 胁迫对侧柏幼苗生长及矿物质离子吸收和分配的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(9):60-66.
Tang X Q, Bai Y F, Liu G L, et al. Effects of NaCl stress on growth and mineral ions absorption and distribution of *Platycladus orientalis* seedlings [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2018, 46(9): 60-66.
- [2] Simunek J, Genuchten M T, Sejna M. Hydrus: model use, calibration, and validation [J]. Transactions of the ASABE, 2012, 55: 1261-1274.
- [3] Kafi M, Hajar A H, Ganjeali A. Possible utilization of high-salinity waters and application of application of low amounts of water for production of the halophyte *Kochia scopria* as alternative fodder in saline agroecosystems [J]. Agricultural Water Management, 2010, 96(1): 139-147.
- [4] Ravindran K C, Venkatesan K, Balakrishnan V, et al. Restoration of saline land by halophytes for Indian soils [J]. Soil Biolo-

- gy and Biochemistry, 2007, 39(10): 2661-2664.
- [5] Hulugalle N R, Weaver T B, Ghadiri H, et al. Changes in soil properties of an eastern Australian vertisol irrigated with treated sewage effluent following gypsum application [J]. Land Degradation & Development, 2006, 17(5): 527-540.
- [6] Wang M X, Pan X X, Xia X F, et al. Environmental sustainability of bioethanol produced from sweet sorghum stem on saline-alkali land [J]. Bioresource Technology, 2015, 187(5): 113-119.
- [7] 杨劲松, 姚荣江, 王相平, 等. 河套平原盐碱地生态治理和生态产业发展模式 [J]. 生态学报, 2016, 36(22): 7059-7063.
- Yang J S, Yao R J, Wang X P, et al. Research on ecological management and ecological industry development model of saline-alkali land in the Hetao Plain, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(22): 7059-7063.
- [8] 景宇鹏, 段 玉, 妥德宝, 等. 河套平原弃耕地土壤盐碱化特征 [J]. 土壤学报, 2016, 53(6): 1410-1420.
- Jing Y P, Duan Y, Tuo D B, et al. Characteristics of salinization of deserted farmland in Hetao Plain [J]. Acta Pedologica Sinica, 2016, 53(6): 1410-1420.
- [9] Zhang X K, Zhou Q H, Cao J H, et al. Differential Cl⁻/salt tolerance and NaCl-induced alternations of tissue and cellular ion fluxes in glycine max, glycine soja and their hybrid seedlings [J]. Journal of Agronomy & Crop Science, 2011, 197(5): 329-339.
- [10] Bacenetti J, Lovarelli D, Tedesco D, et al. Environmental impact assessment of alfalfa (*Medicago sativa* L.) hay production [J]. Science of the Total Environment, 2018, 635(10): 551-558.
- [11] 朱爱民, 张玉霞, 王显国, 等. 8 个苜蓿品种抗寒性的比较 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(1): 1-7.
- Zhu A M, Zhang Y X, Wang X G, et al. Comparison of cold resistance of 8 alfalfa varieties [J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition), 2019, 47(1): 1-7.
- [12] 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.
- [13] 魏臻武, 符 昕, 曹致中, 等. 苜蓿生长特性和产草量关系的研究 [J]. 草业学报, 2007, 16(4): 1-8.
- Wei Z W, Fu X, Cao Z Z, et al. Forage yield component and growth characteristics of *Medicago sativa* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2007, 16(4): 1-8.
- [14] 熊 雪, 罗建川, 魏雨其, 等. 不均匀盐胁迫对紫花苜蓿生长特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2018, 51(11): 2072-2083.
- Xiong X, Luo J C, Wei Y Q, et al. Effects of non-uniform salt stress on growth characteristics of alfalfa [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(11): 2072-2083.
- [15] 贾婷婷, 赵苗苗, 吴 哲, 等. 雨淋及干燥方式对紫花苜蓿干草品质的影响 [J]. 草地学报, 2017, 25(6): 1362-1367.
- Jia T T, Zhao M M, Wu Z, et al. Effect of raining and drying method on the quality of alfalfa hay [J]. Acta Agrestia Sinica, 2017, 25(6): 1362-1367.
- [16] 文 雅, 张 静, 冯 萌, 等. 水氮互作对河西走廊紫花苜蓿品质
- 质的影响 [J]. 草业学报, 2018, 27(10): 76-83.
- Wen Y, Zhang J, Feng M, et al. Effects of irrigation and nitrogen fertilizer on alfalfa quality [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(10): 76-83.
- [17] 李 岩, 苏德荣, 李宏韬. 西北旱区喷灌条件下紫花苜蓿生长特征与品质指标的关系 [J]. 草业学报, 2018, 27(10): 54-65.
- Li Y, Su D R, Li H T. The relationship between growth characteristics and the quality of alfalfa under sprinkler irrigation in the northwest arid area of China [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2018, 27(10): 54-65.
- [18] 郝 凤, 刘晓静, 张晓磊, 等. 混合盐碱胁迫对紫花苜蓿苗期氮磷吸收及生理特性的影响 [J]. 中国沙漠, 2015, 35(5): 1268-1274.
- Hao F, Liu X J, Zhang X L, et al. Effect of complex saline-alkali stress on nitrogen and phosphorus absorption and physiological traits of alfalfa seedlings [J]. Journal of Desert Research, 2015, 35(5): 1268-1274.
- [19] 侯美玲, 刘庭玉, 孙 林, 等. 华北地区紫花苜蓿适宜刈割物候期及留茬高度的研究 [J]. 草原与草业, 2016, 28(2): 43-51.
- Hou M L, Liu T Y, Sun L, et al. Study on mowing phenophase and stubble height of alfalfa hay in north China [J]. Grassland and Prataculture, 2016, 28(2): 43-51.
- [20] 王 伟. 刈割技术对紫花苜蓿根系及干草品质的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
- Wang W. The influence of mowing technology on alfalfa root and hay quality [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2015.
- [21] 王坤龙, 王金玉, 宋彦军, 等. 留茬高度对紫花苜蓿根系生长及翌年返青的影响 [J]. 中国饲料, 2016(1): 17-20.
- Wang K L, Wang Q Y, Song Y J, et al. Effects of stubble height on root growth and green returning of alfalfa [J]. Chinese Feed, 2016(1): 17-20.
- [22] 赵 霞, 叶 林. 盐碱胁迫对紫花苜蓿生长、品质及光合特性的影响 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45(21): 176-180.
- Zhao X, Ye L. Effects of saline-alkali stress on growth, quality and photosynthetic characteristics of alfalfa [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(21): 176-180.
- [23] 刘东霞, 刘贵河, 杨志敏. 种植及收获因子对紫花苜蓿干草产量和茎叶比的影响 [J]. 草业学报, 2015, 24(3): 48-57.
- Liu D X, Liu G H, Yang Z M. The effects of planting and harvesting factors on hay yield and stem-leaf ratio of *Medicago sativa* [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(3): 48-57.
- [24] 刘 燕, 贾玉山, 冯骁骋, 等. 紫花苜蓿刈割和晾晒技术研究 [J]. 草地学报, 2014, 22(2): 404-408.
- Liu Y, Jia Y S, Feng X C, et al. Study on the cutting and drying technology of alfalfa [J]. Acta Agrestia Sinica, 2014, 22(2): 404-408.
- [25] 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.

[14]

Doukyu N,Ishikawa K,Watanabe R,et al.Improvement in organic solvent tolerance by double disruptions of proV and marR genes in *Escherichia coli* [J].Journal of Applied Microbiology,2012,112(3):464-474.

[15]

Zheng F,Shao Z Q,Hao X,et al.Identification of oligopeptide-binding protein (OppA) and its role in the virulence of *Streptococcus suis* serotype 2 [J].Microbial Pathogenesis,2018,118:322-329.

[16]

Zhang P Y,Xu P P,Xia Z J,et al.Combined treatment with the antibiotics kanamycin and streptomycin promotes the conjugation of *Escherichia coli* [J].FEMS Microbiology Letters,2013,348(2):149-156.

[17]

Liu W,Huang L,Su Y,et al.Contributions of the oligopeptide permeases in multistep of *Vibrio alginolyticus* pathogenesis [J].Microbiologyopen,2017,6(5):e00511.

[18]

Tello M,Avalos F,Orellana O.Codon usage and modular interactions between messenger RNA coding regions and small RNAs in *Escherichia coli* [J].Bmc Genomics,2018,19(1):657.

[19]

Nishino K,Yamasaki S,Hayashi-Nishino M,et al.Effect of overexpression of small non-coding DsrA RNA on multidrug efflux in *Escherichia coli* [J].Journal of Antimicrobial Chemotherapy,2011,66(2):291-296.

[20]

Kim Y,Wood T K.Toxins Hha and CspD and small RNA regulator Hfq are involved in persister cell formation through MqsR in *Escherichia coli* [J].Biochemical & Biophysical Research Communications,2010,391(1):209-213.

[21]

Monteiro C,Papenfort K,Hentrich K,et al.Hfq and Hfq-dependent small RNAs are major contributors to multicellular development in *Salmonella enterica* serovar Typhimurium. [J].Rna Biology,2012,9(4):489-502.

[22]

Liu L K,Becker D F,Tanner J J.Structure,function,and mechanism of proline utilization A (PutA) [J].Archives of Biochemistry & Biophysics,2017,632(15):142-157.

(上接第 39 页)

[26]

王坤龙,宋彦君,史树生,等.留茬高度对苜蓿再生干草质量及返青率的影响 [J].黑龙江畜牧兽医,2016(23):124-126,129.
Wang K L,Song Y J,Shi S S,et al.Effect of stubble height on the hay quality of regenerated alfalfa and the reviving rate [J].Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine,2016(23):124-126,129.

[27]

Lou Y H,Guan R,Sun M,et al.Spermidine application alleviates salinity damage to antioxidant enzyme activity and gene expression in alfalfa [J].Ecotoxicology,2018,27:1323-1330.

[28]

尹 强.苜蓿干草调制贮藏技术时空异质性研究 [D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.
Yin Q.Study on spatial and temporal heterogeneity of alfalfa hay making and storing technology [D]. Hohhot:Inner Mongolia Agricultural University,2013.

[29]

张丽英.饲草分析及饲料质量检测技术 [M].北京:中国农业大学出版社,2016.
Zhang L Y.Feed analysis and quality test technology [M].Beijing:China Agricultural University Press,2016.

[30]

卢星辰,张济世,苗 琪,等.不同改良物料及其配施组合对黄河三角洲滨海盐碱土的改良效果 [J].水土保持学报,2017,31(6):326-332.
Lu X C,Zhang J S,Miao Q,et al.Improvement effects of different ameliorants and their combinations on coastal saline-alkali soil in the Yellow River delta [J].Journal of Soil and Water Conservation,2017,31(6):326-332.

[31]

马金星,王铁梅,卢欣石,等.20 份新疆紫花苜蓿种质的形态特征与农艺性状研究 [J].中国草地学报,2018,40(3):20-26.
Ma J X,Wang T M,Lu X S,et al.Study on the morphological and agronomical characteristics of 20 alfalfa germplasm resources of Xinjiang [J].Chinese Journal of Grassland,2018,40(3):20-26.

[32]

王运涛,于林清,远 婷,等.Na₂CO₃ 盐胁迫对 10 个苜蓿品种生长初期地下指标的影响 [J].草地学报,2017,25(4):790-795.
Wang Y T,Yu L Q,Yuan T,et al.Effects of Na₂CO₃ on underground indexes of 10 alfalfa cultivars at initial stage of growth [J].Acta Agrestia Sinica,2017,25(4):790-795.