

干旱环境下4种高原禾本科牧草产量及营养品质比较

王晓彤^{1,2}, 柳小妮¹, 唐俊伟², 贾顺斌², 马力²

(1. 甘肃农业大学草业学院, 草业生态系统教育部重点实验室, 甘肃省草业工程实验室, 中-美草地畜牧业可持续发展研究中心, 甘肃 兰州 730070; 2. 青海省草原总站, 青海 西宁 810008)

摘要:为筛选适宜干旱、半干旱环青海湖地区生长的优良牧草, 测定了高原地区生长的4种禾本科本土牧草的生产性能和营养价值指标, 并结合灰色关联度分析法进行了综合评价。结果表明, 大颖草(*Roegneria grandiglumis*)和扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)的叶茎比和鲜干比较高, 适口性更好; 同德短芒披碱草(*Elymus breviaristatus* cv. Tongde)的干草产量为最高, 大颖草、同德短芒披碱草、同德贫花鹅观草(*Roegneria pauciflora* cv. Tongde)的草产量之间差异不显著; 扁穗冰草的营养价值相对最好; 4种供试牧草综合评价表现由高到低为: 扁穗冰草>大颖草>同德贫花鹅观草>同德短芒披碱草。

关键词:干旱; 禾本科牧草; 产量; 营养品质; 灰色关联分析

中图分类号: S812 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2022)01-0057-06

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2022.01.007



青海湖流域地处中国青藏高原东北部, 位于中国东部季风区、西北干旱区和西南高寒区的中心交汇地带, 是维系青藏高原生态环境安全和控制荒漠化自西向东蔓延的重要屏障^[1-2]。受全球环境变化和人类生产生活的影响, 青海湖流域干旱化明显, 盐碱化加剧^[3], 出现草地退化、沙化, 植物种群减少等生态问题, 对环青海湖地区的水土保持、水源涵养、气候调节等产生了重大影响^[4]。遏制草地沙化是解决当前生态环境治理和人居环境可持续发展问题的主要内容之一, 青海湖周边地区的生态环境原始且脆弱, 生态结构简单、敏感, 易受干扰引起退化^[5], 而且自然恢复过程慢、难度大^[6]。目前青藏高原地区退化草地治理中常用到的牧草品种多为抗寒性牧草, 其在干旱环境中的适应能力鲜有研究, 而且国内外用于沙化草地治理的草种无法适应高海拔地区生长^[7]。因此探究高寒区本土牧草

在干旱地区的适应能力, 显得尤为重要。

环青海湖地区属于干旱、半干旱地区, 降水量少, 日照时数多, 土壤蒸发量高, 土壤中水分供不应求^[8-9], 干旱胁迫抑制了牧草出苗期、分蘖期及拔节期的生长^[10], 从而导致草原退化, 草层高度降低, 产草量大幅度下降^[11]。梁丹妮等^[12]研究表明, 干旱胁迫时间越久, 牧草的生长越易受到影响。尹国丽等^[13]研究表明, 牧草出苗率与土壤中的含水量存在正相关。寇丹等^[14]研究发现, 添加水分会增加牧草的叶茎比, 从而提高牧草的营养品质。本研究通过比较扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)^[15]、大颖草(*Roegneria grandiglumis*)^[16]、同德短芒披碱草(*Elymus breviaristatus* cv. Tongde)^[17]和同德贫花鹅观草(*Roegneria pauciflora* cv. Tongde)^[18]4种常见的高原禾本科牧草在干旱环境下的农艺性状和牧草品质, 并利用灰色关联分析法^[19]综合评价牧草的生产性能与营养价值, 从而筛选适合在高寒且干旱地区生长的优良牧草, 为青海湖流域的保护、恢复和生态环境的综合治理提供科学依据和技术支撑。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地位于青海湖西岸的青海省铁卜加草原改良

收稿日期: 2021-03-19; 修回日期: 2021-04-08

基金项目: 三江源区沙生草种大颖草繁育与适应性研究项目(2015-S-1)

作者简介: 王晓彤(1992-), 女, 青海湟源人, 硕士, 工程师。

E-mail: 459820173@qq.com

柳小妮为通讯作者。

E-mail: liuxn@gsau.edu.cn

与试验站(E 99°35', N 37°05'),海拔 3 270 m。该地区属高原干旱大陆性气候,年均气温-0.7 °C,≥0 °C年积温 1 331.3 °C。年太阳辐射总量为 695.25 kJ/m²,年日照时数为 2 670 h。年平均降水量为 368.11 mm,多集中于 6—8 月,年蒸发量为 1 495.3 mm。土壤为暗栗钙土^[20]。

1.2 试验材料

选取 4 种常见的高原禾本科牧草:扁穗冰草、大颖草、同德短芒披碱草和同德贫花鹅观草。前 2 种牧草种子由青海省草原总站提供,后 2 种牧草种子由青海牧草良种繁殖场提供。

1.3 试验设计

试验为随机区组排列,设置小区面积为 3 m×5 m=15 m²,3 次重复,共 12 个小区。于 2019 年 5 月 26 日播种,播前对地面进行深翻处理^[21],同时施用磷酸二胺(150 kg/hm²)、尿素(75 kg/hm²),播种量 30 kg/hm²^[22],人工条播。

1.4 测定项目及方法

叶茎比的测定:于初花期在各处理小区随机取鲜草样品 1 000 g,茎叶分离,风干后测定茎重和叶重,测算叶茎比、叶茎总干重、叶占叶茎总干重的比例、茎占叶茎总干重的比例^[22]。

鲜草及干草产量的测定:于初花期在各处理小区随机选取 1 m²样方进行称重,折算每公顷鲜草产量,然后将其置于自然条件下风干,待水分降至 30%时称重^[23],折算每公顷干草产量,并计算鲜干比。

$$\zeta_k = \frac{\frac{\min_i \min_k |X_0(k) - X_i(k)| + \rho \frac{\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{i \quad k}}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \frac{\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{i \quad k}}}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \frac{\max_i \max_k |X_0(k) - X_i(k)|}{i \quad k}}$$

绝对差值:

$$\Delta_i(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$$

$$\text{关联度: } r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k)$$

2 结果与分析

2.1 叶茎比

同德短芒披碱草的叶茎总干重显著高于其他 3 种牧草($P < 0.05$),为 264.1 g;其次为大颖草及同德贫花鹅观草,两种牧草之间无显著差异(表 1)。

4 种牧草的叶茎比为 0.62~0.99,扁穗冰草的叶茎比最高($P < 0.05$),为 0.99;4 种牧草的叶占叶茎总

营养价值指标测定:取鲜草 1 kg,测定粗灰分(Crude Ash, Ash)^[25]、粗蛋白质(Crude protein, CP)^[26]、粗纤维(Crude fiber, CF)^[27]、粗脂肪(Ether extract, EE)^[28]、钙(Calcium, Ca)^[29]、磷(Phosphorus, P)^[29]的含量,并根据公式计算出无氮浸出物(Nitrogen free extract, NFE)。

$$\text{无氮浸出物} = (100\% - (\text{CP} + \text{CF} + \text{EE} + \text{Ash}))\% \text{ [30]}$$

1.5 统计分析与评价方法

试验数据用 Excel 2016 进行整理,采用 SPSS 17.0 对农艺性状和营养成分指标进行单因素方差分析,并用 Duncan's 新复极差法进行多重比较。同时采用灰色关联度理论^[17]对参试草种的农艺性状指标和营养成分指标进行综合评价。

灰色关联分析:取参试品种指标叶茎比、鲜干比、干草产量、CP、EE、Ca、P、NFE 的最大值和 Ash 及 CF 的最小值,形成一个“理想草种”^[31],以“理想草种”的各指标构成的序列作为参考序列,记作 $X_0(k)$,各参试草种指标构成序列作为比较序列,记作 $X_i(k)$, i = 参试草种, k = 指标。采用数据标准化对所有数值进行无量纲化处理。根据无量纲化数据求得参试草种各性状与“理想草种”各性状之间的绝对差值。然后利用关联系数公式求得相对应的关联系数,分辨系数 $\rho = 0.5$ 。关联系数能够真实的反应各参试草种与“理想草种”之间的差异大小,品种间关联系数越大,越靠近“理想草种”^[32]。关联系数:

干重比例 38.33%~49.83%,其中干重的差异主要集中在茎,同德短芒披碱草茎干重显著高于其他草种(表 1)。

2.2 草产量

4 种供试牧草中,同德短芒披碱草的鲜草产量和干草产量均为最高,分别为 15.97 和 7.13 t/hm²,与同德贫花鹅观草和大颖草的草产量无显著差异($P > 0.05$),但显著高于扁穗冰草($P < 0.05$);而大颖草、同德短芒披碱草、同德贫花鹅观草的草产量之间无显著差异($P > 0.05$);4 种牧草的鲜干比差异不显著($P > 0.05$),比值最高的依然为扁穗冰草(表 2)。

表 1 4 种牧草的叶茎比

Table 1 Leaf-stem ratio of 4 pastures

草种	叶茎总干重/g	叶茎比	叶		茎	
			干重/g	占叶茎总干重比例/%	干重/g	占叶茎总干重比例/%
大颖草	240.2 ^b	0.84 ^a	109.65 ^a	45.65	130.55 ^b	54.35
扁穗冰草	225.4 ^c	0.99 ^a	112.32 ^a	49.83	113.08 ^c	50.17
同德短芒披碱草	264.1 ^a	0.62 ^b	101.23 ^b	38.33	162.87 ^a	61.67
同德贫花鹅观草	238.5 ^b	0.78 ^{ab}	104.70 ^b	43.90	133.80 ^b	56.10

注:同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同

表 2 4 种牧草草产量

Table 2 Forage yield of 4 pastures

草种	鲜草产量/ (t · hm ⁻²)	干草产量/ (t · hm ⁻²)	鲜干比
大颖草	14.31 ^{ab}	6.25 ^{ab}	2.29 ^a
扁穗冰草	12.94 ^b	5.26 ^b	2.46 ^a
同德短芒披碱草	15.97 ^a	7.13 ^a	2.24 ^a
同德贫花鹅观草	14.16 ^{ab}	6.81 ^{ab}	2.08 ^a

2.3 营养品质

4 种牧草的 Ash 含量有显著差异($P < 0.05$),其中最高的是扁穗冰草,为 7.1%,最低的是大颖草,为 4.0%;CP 含量最高的是扁穗冰草,为 8.83%,明显高于其他 3 种牧草($P < 0.05$),第 2 是大颖草,CP 含量为 6.48%;扁穗冰草的 CF 含量显著低于其他 3 种牧草($P < 0.05$),而同德短芒披碱草的 CF 含量最高;

4 种牧草的 EE 含量差异显著($P < 0.05$),含量最高的为扁穗冰草,含量最低的为同德短芒披碱草;4 种牧草的 Ca 含量扁穗冰草最高,与其他牧草差异显著($P < 0.05$),而 P 含量 4 种牧草无显著差异($P > 0.05$);4 种牧草的 NFE 含量之间存在显著差异($P < 0.05$),大颖草 NFE 含量最高,为 42.28%(表 3)。

2.4 综合评价

取 4 种牧草叶茎比、鲜干比、干草产量、CP、EE、Ca、P、NFE 含量的最大值和 Ash 及 CF 含量的最小值,形成一个“理想品种” $X_0(k)$ (表 4),并计算出参试品种各性状相对应的关联系数。4 个参试草种的关联度排序为:扁穗冰草 > 大颖草 > 同德贫花鹅观草 > 同德短芒披碱草。大颖草和扁穗冰草的关联系数相差不大,综合表现优于同德贫花鹅观草和同德短芒披碱草(表 5)。

表 3 4 种牧草的营养品质

Table 3 Nutritional value of 4 pastures

指标	大颖草	扁穗冰草	同德短芒披碱草	同德贫花鹅观草
Ash/%	4.00 ^d	7.10 ^a	6.80 ^b	5.90 ^c
CP/%	6.48 ^b	8.83 ^a	5.91 ^d	6.20 ^c
CF/%	38.92 ^b	32.68 ^d	43.06 ^a	37.02 ^c
EE/%	1.12 ^c	2.25 ^b	0.96 ^c	2.94 ^a
Ga/%	0.26 ^b	0.46 ^a	0.22 ^b	0.31 ^b
P/%	0.15 ^a	0.11 ^a	0.09 ^a	0.14 ^a
NFC/%	42.28 ^a	41.04 ^b	36.17 ^c	41.04 ^b

表 4 “理想品种”指标构建

Table 4 Parameters of ideal variety

品种	叶茎比	鲜干比	干草产量	Ash	CF	CF	EE	Ga	P	NFE
$X_0(k)$	0.99	2.46	7.13	4.0	8.83	32.68	2.94	0.46	0.15	42.28

表 5 4 种牧草的关联系数及排序

Table 5 The rank and relational grade of 4 pastures

参试品种	关联系数	关联排序
大颖草	0.875 2	2
扁穗冰草	0.875 8	1
同德短芒披碱草	0.739 2	4
同德贫花鹅观草	0.823 4	3

3 讨论

3.1 4 种牧草农艺性状差异分析

牧草的农艺性状包括叶茎比、鲜干比、草产量等指标,是衡量牧草适应性强弱的首要指标^[34]。叶片中蛋白质含量和矿物质含量比茎中的高,叶片中的粗纤维含量要比茎中的低,所以叶片占叶茎总干重比例越高,牧草的营养品质也越好^[33]。扁穗冰草的叶含量在 4 种牧草中最高,说明扁穗冰草相较于其他 3 种牧草,更适于在寒冷干旱的环境中生长。这与王怡丹^[35]及季波等^[36]的试验结果一致。鲜干比和叶茎比的比值越大,营养价值越高,适口性强,品质好,利用率就高^[33]。同德短芒披碱草的草产量在 4 种牧草中相对最高,但是叶含量和鲜干比最低,说明同德短芒披碱草虽然在高寒地区作为高产牧草^[37],但是在寒冷和干旱的双重胁迫下,其生产性能不稳定。刘杰^[38]在西藏对同德短芒披碱草进行寒冷和干旱双重胁迫,也发现其对胁迫的调节能力有一定限度。

3.2 4 种牧草营养品质分析

粗灰分、粗蛋白质、粗纤维、粗脂肪、钙、磷、无氮浸出物含量等都是反映牧草营养品质的重要指标。水作为牧草生长的重要因子,是植物吸收、合成和转运营养物质的传递者,为牧草营养物质的形成起着至关重要的作用^[39]。随着干旱程度的增加,牧草 EE 和 CP 的合成受到阻碍,粗纤维含量显著提高^[40]。EE、Ca、P、NFE 含量越高,牧草品质越好^[41-43],CF 含量影响牲畜对牧草的消化率^[44],CF 含量越低,牲畜采食后消化率越高,Ash 的含量可反映牧草矿物质含量,含量越高,品质越好;反之,含量越少,牧草的品质越差^[45]。扁穗冰草的 Ash、CP、EE 及 Ca 含量均为最高,说明扁穗冰草的营养品质最好。同德短芒披碱草 CF 含量最高,适口性较差,消化率较低。

3.3 综合评价

灰色关联分析法目前被广泛应用于各行业的综合

评价与分析中,利用灰色关联分析可以避免在分析过程中因主观因素带来的误差和依靠单一性状进行评价的弊端^[46],对牧草的综合性能做出全面的评价。本研究选取主要生产和营养性状指标,将 4 种牧草的性状进行归一化处理,在满足牧草高产量要求的同时,用多个指标来反映牧草的综合价值,结果表明扁穗冰草和大颖草优于其他 2 种牧草。

4 结论

扁穗冰草和大颖草在本试验中表现出的生产性能较好,叶茎比和鲜干比较高,且营养品质优于其他两种牧草。综合评价,扁穗冰草和大颖草更适宜于在环青海湖地区种植。

参考文献:

- [1] 李小雁,许何也,马育军,等. 青海湖流域土地利用/覆被变化研究[J]. 自然资源学报,2008,23(2):285-296.
- [2] 刘宝康. 气候变化背景下青海湖流域草地与湖泊时空变化特征研究[D]. 兰州:兰州大学,2016.
- [3] 侯威. 青海湖流域生态环境地质条件与生态环境地质问题研究[D]. 北京:中国地质大学,2020.
- [4] 沈海花,朱言坤,赵霞,等. 中国草地资源的现状分析[J]. 科学通报,2016,61(2):139-154.
- [5] 李玲,张福平,冯起,等. 环青海湖地区草地对气候变化和人类活动的响应[J]. 生态学杂志,2019,38(4):1157-1165.
- [6] 张骞,马丽,张中华,等. 青藏高寒区退化草地生态恢复:退化现状、恢复措施、效应与展望[J]. 生态学报,2019,39(20):7441-7451.
- [7] 郭坤. 青藏铁路沿线严重沙化段植被恢复及耐沙埋草种筛选研究[D]. 北京:北京林业大学,2018.
- [8] 寇江涛,师尚礼,蔡卓山. 垄沟集雨种植对旱作紫花苜蓿生长特性及品质的影响[J]. 中国农业科学,2010,43(24):5028-5036.
- [9] 张旭萍,郭连云,田辉春. 环青海湖盆地气候变化对草地生态环境的影响[J]. 草原与草坪,2008,28(2):64-69.
- [10] 姬文琴,杨智,汪辉,等. 不同生育阶段燕麦对干旱胁迫的响应[J]. 中国草地学报,2021,43(1):58-67.
- [11] 祁万录,郭连云. 环青海湖盆地气候及其变化对生态环境的影响分析[J]. 草业与畜牧,2007(7):33-35+43.
- [12] 梁丹妮,郭兴燕,兰剑. 6 份沿阶草种质对干旱胁迫的生理响应[J]. 草业科学,2016,33(2):184-191.
- [13] 尹国丽,负旭疆,师尚礼,等. 半干旱区沟垄集雨种植对紫花苜蓿出苗及草产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,

- 2010,45(1):111-115.
- [14] 寇丹,苏德荣,吴迪,等.地下调亏滴灌对紫花苜蓿耗水、产量和品质的影响[J].农业工程学报,2014,30(2):116-123.
- [15] 周学丽,杨路存,李桂全,等.扁穗冰草不同地理种群 cp-DNAtrnT-trnL 多态性分析[J].青海草业,2019,28(3):2-6.
- [16] 唐俊伟,乔安海,马力,等.播种技术对大颖草产量及农艺性状的影响[J].草地学报,2019,27(5):1425-1430.
- [17] 陈乐乐,施建军,王彦龙,等.高寒地区禾本科牧草生产力适应性评价[J].草地学报,2015,23(5):1073-1079.
- [18] 贾顺斌.同德贫花鹅观草生产试验报告[J].青海草业,2017,26(2):13-15.
- [19] 郭瑞林,刘亚飞,吴秋芳,等.作物灰色育种学的理论技术体系及其应用[J].天津农业科学,2012,18(5):111-115.
- [20] 杜玉红,周学丽,王建锋.高寒地区 4 种禾本科牧草的生产特性比较[J].草业科学,2010,27(8):166-168.
- [21] 闫志勇,周青平,刘文辉,等.青藏高原 6 份披碱草属牧草农艺性状及生产性能评价[J].草业科学,2014,31(1):108-115.
- [22] 马力,王晓彤,贾顺斌.青海省同德地区大颖草与其他几种牧草的品种比较试验[J].畜牧与饲料科学,2018,39(4):41-43.
- [23] 郭建文,李林渊,田新会,等.饲草型小黑麦新品系在甘肃高海拔地区的生产性能和品质研究[J].草原与草坪,2018,38(4):72-77.
- [24] 国家市场监督管理总局.饲料中粗灰分的测定:GB/T 6438-2007[S].北京:中国标准化出版社,2007.
- [25] 国家市场监督管理总局.饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法:GB/T 6432-2018[S].北京:中国标准化出版社,2018.
- [26] 国家市场监督管理总局.饲料中粗纤维的含量测定 过滤法:GB/T 6434-2006[S].北京:中国标准化出版社,2006.
- [27] 国家市场监督管理总局.饲料中粗脂肪的测定:GB/T 6433-2006[S].北京:中国标准化出版社,2006.
- [28] 国家市场监督管理总局.饲料中钙的测定:GB/T 6436-2018[S].北京:中国标准化出版社,2018.
- [29] 国家市场监督管理总局.饲料中总磷的测定 分光光度法:GB/T 6437-2018[S].北京:中国标准化出版社,2018.
- [30] 魏双霞,师尚礼,康文娟,等.抗寒紫花苜蓿品系的营养价值评价[J].草原与草坪,2016,36(3):54-59+66.
- [31] 张光雨,沈振西,邵小明,等.西藏当雄 10 个引进燕麦品种的生产性能和营养品质比较[J].草地学报,2019,27(4):1083-1089.
- [32] 王运涛,杨志敏,刘建成,等.冀西北地区 21 个燕麦品种生产性能与营养品质综合评价[J].草地学报,2020,28(5):1311-1318.
- [33] 刘春英,孙学映,朱体超,等.不同黑麦草品种生产性能比较与优势品种筛选[J].草业学报,2014,23(4):39-48.
- [34] 肖雪君,周青平,陈有军,等.播种量对高寒牧区林纳燕麦生产性能及光合特性的影响[J].草业科学,2017,34(4):761-771.
- [35] 王怡丹.PEG 胁迫下扁穗冰草抗旱性生理指标的变化[J].农业与技术,2015,35(5):8-9+15.
- [36] 季波,时龙,徐金鹏,等.10 种禾本科牧草种质资源萌发期抗旱性评价[J].种子,2020,39(7):12-18.
- [37] 刘军芳,汪新川,刘文辉.四份披碱草属牧草在同德地区生产性能评价[J].中国草地学报,2010,32(6):81-85.
- [38] 刘杰.低温干旱复合胁迫对黑麦、小黑麦、短芒披碱草幼苗的抗逆性研究[D].拉萨:西藏大学,2017.
- [39] 刘军.水分胁迫对紫花苜蓿光合生理特性及品质的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2020.
- [40] 吴森.水分胁迫下硅肥对紫花苜蓿生长及饲草产量和品质的影响[D].南京:南京农业大学,2018.
- [41] 王彦华,王成章,李德锋,等.播种量和品种对紫花苜蓿植株动态变化、产量及品质的影响[J].草业学报,2017,26(2):123-135.
- [42] 杨霞,王珍,运向军,等.不同降雨年份和放牧方式对荒漠草原初级生产力及营养动态的影响[J].草业学报,2015,24(11):1-9.
- [43] 南丽丽,温素军,魏凡,等.红豆草新品系的草产量及营养价值研究[J].草地学报,2020,28(2):383-388.
- [44] 张金旭,马玉寿,施建军,等.刈割对江河源区混播草地牧草产量及品质的影响[J].草业科学,2010,27(1):92-96.
- [45] 孙万斌.不同生境下 20 个紫花苜蓿品种的综合评价及不同生育期营养特性的比较[D].兰州:甘肃农业大学,2016.
- [46] 李岩,徐智明,李争艳,等.14 个紫花苜蓿品种草产量及营养品质的综合评价[J].草原与草坪,2019,39(4):85-91.