

祁连山坡地垂直带三种牧草的生长试验*

薛晓娟^{1,2}, 李英年^{1**}, 杜明远³, 刘安花^{1,2}, 张法伟¹, 王建雷^{1,2}

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2. 中国科学院研究生院; 3. 日本农业环境技术研究所)

摘要: 通过盆栽试验, 观测分析了祁连山东段南麓坡地 3200m - 3800m 垂直带 3 种牧草的生长情况。结果表明: 中华羊茅 (*Festuca sinensis* Keng) 仅在 3400m 处发芽、生长, 其他高度上未发芽; 垂穗披碱草 (*Elymus nutans* Griseb) 和冷地早熟禾 (*Poa crymophila* Keng) 在不同海拔高度均可发芽、生长。垂穗披碱草和冷地早熟禾地上、地下生物量沿海拔高度的升高而降低, 且前者生物量大于后者; 两者的植株高度和根系长度随海拔不同而不同, 都在 3400m 处最大, 前者大于后者。因此, 垂穗披碱草和冷地早熟禾可以作为高寒草原地区推广种植的首选牧草, 而中华羊茅生长所需环境相对苛刻, 不易在同类环境下生长。

关键词: 三种牧草; 祁连山坡地; 盆栽试验

Growth Analysis of Three Representative Forages in Different Vertical Zones of the Southern Foot of East Qilian Mountains

XUE Xiao-juan^{1,2}, LI Ying-nian¹, DUMing-yuan³, LIU An-hua^{1,2}, ZHANG Fa-wei¹, WANG Jian-lei^{1,2}

(1. Northwest Institute of Plateau Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences; 3. National Institute of Agro-Environmental Sciences of Japan)

Abstract: The potted planting experiments of three forages along the vertical zones of the southern foot of east Qilian Mountains were analyzed. The results showed that *Festuca sinensis* Keng could not germinate and grow at all of the altitudes except in 3400m, while both *Elymus nutans* Griseb and *Poa crymophila* Keng completed life history at the different altitudes. Moreover, the aboveground biomass, underground biomass and total biomass of *Elymus nutans* Griseb and *Poa crymophila* Keng descended with altitudes ascended, and that the biomass of the former species was higher than the latter. Plant height and root length of two forages were different along altitudes ascended, which were highest for both forages in 3400m. Therefore, *Elymus nutans* Griseb and *Poa crymophila* Keng were the selected as planting forages in the alpine steppes, while *Festuca sinensis* Keng required rigorous conditions for growth and was difficult to grow in the this area.

Key words: Three forages; Southern foot of East Qilian Mountains; Potted planting experiment

高寒草地是高寒地区天然草地资源的重要组成部分, 近年来由于家畜数量猛增, 草场超载过牧, 草地利用不合理, 加之气候暖干化影响, 导致草地退化严重。由于高寒草地社会投入少, 牧草生长及生产力高低完全受水热条件的影响, 在畜牧业生产中冬春缺草与牲畜需求的矛盾较为突出, 严重时造成牲畜大幅度掉膘甚至死亡, 给畜牧业生产造成巨大损失。要解决上述矛盾, 扭转被动局面, 其办法之一是在合理利用天然草地的前提下, 建立大面积优质高产的人工草地或半人工草地^[1]。

人工草地作为草地经营的高级形式, 是草地畜牧业现代化的重要质量指标, 经济效益和生态效益十分显著^[2]。建植人工草地不仅可使退化草地植被得到快速恢复和生态重建, 而且可以解决草地畜牧业因天然草地造成的饲料季节不平衡问题, 以充分发挥天然草地的生产潜力, 同时建立大面积人工草地, 将加大植被对大气 CO₂ 的吸收, 降低大气温室气体浓度的升高, 对缓解气候

温暖化有利。如何选择适合高寒地区气候环境条件生长的优良牧草是建植人工草地基础关键的一环^[3]。牧草的引种试验^[4-5]、混播试验^[6-7]及生产性能^[8]等在许多地区均有大量报道, 但由于气候条件和栽培管理水平及方式不同, 在各地的适应性和生产性能表现出较大的差异。为此, 本文选择位于青藏高原北部祁连山东段南麓坡地, 沿海拔高度按 200m 梯度的垂直带进行 3 种牧草的盆栽实验和微气象条件观测, 比较 3 种牧草在不同海拔高度的发芽率、生物量以及生长高度和根系生长长度, 分析 3 种牧草在不同海拔高度气象环境条件下的生长状况, 为青藏高原北部高寒草地建植人工草地和大面积实施退耕还草、退化草地恢复建植提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站 (简称海北站, 下同) 进行。海北站位于青藏高原东北隅

* 收稿日期: 2007-12-29 ** 通讯作者。E-mail: ynli@nwipb.ac.cn

基金项目: 中科院西部行动计划项目 (KZCX2-XB2-06-01); 中科院西北高原生物研究所百人计划项目

作者简介: 薛晓娟 (1982 -), 女, 山东曲阜人, 硕士生, 主要从事植物生态学研究。

的青海海北藏族自治州门源回族自治县,祁连山北支冷龙岭东段南麓坡地的大通河河谷西段,地理位置为 $37^{\circ}29' - 37^{\circ}45' N, 101^{\circ}12' - 101^{\circ}23' E$ 。该区具有明显的高原大陆性气候,东南季风及西南季风微弱。高海拔条件制约,气温极低,无明显四季之分,仅有冷暖季之别,干湿季分明;地区年平均气温 $-1.7^{\circ}C$;年平均降水量 $560mm^{[9]}$ 。分布有矮蒿草 (*Kobresia humilis*) 草甸、金露梅灌丛 (*Potentilla fruticosa*) 草甸等。土壤为洪积-冲积物、坡积-残积物及古冰水沉积物在不同水热条件下受植被改造发育而成,在滩地和阳坡多有草毡寒冻锥形土 (*Mar-Cryic Cambisols*)、山地阴坡多分布暗沃寒冻锥形土 (*Mol-Cryic Cambisols*),土壤发育年青,土层浅薄、有机质含量丰富^[10]。

1.2 试验材料

在海北站选择矮蒿草草甸区的草毡寒冻锥形土土壤,有机质含量 5.85% ,全氮含量为 0.262% ,碳氮比为 10.3 , pH 值为 $7.9^{[11]}$,进行筛选,花盆培土,花盆上沿口径 $28cm$,高度 $32cm$ 。本试验仅选择对高原气候适应性较强,而且高原常见,多年生丛生,分蘖多,对土壤适应性强,抗干旱、耐寒的冷地早熟禾 (*Poa crymophila* Keng)、中华羊茅 (*Festuca sinensis* Keng) 和垂穗披碱草 (*Elymus nutans* Griseb) 3 种牧草作供试材料。

1.3 试验设计及项目观测

试验区在祁连山冷龙岭南麓自海北站 ($3200m$) 开始,向东沿山体海拔高度逐渐升高,并每升高 $200m$ 为一梯度设置一个供试点,直至直线距离 $9km$ 处 $4300m$ 的坡顶。于 2007 年 6 月 25 日将所选择的 3 种饱满牧草种子点种于花盆中,点播深度均为 $1.5cm$,每盆根据种子大小设置穴数,每穴播两粒。点播处理好的花盆于 2007 年 6 月 26 日移栽至不同海拔高度处,每个高度每种牧草为 3 个重复,盆沿比自然地面高 $2cm$ 使盆内土壤表面与地面齐平,无灌溉,完全处于自然状况。7 月中旬初观测种子发芽情况,在牧草地上生物量达最大的 8 月底,测取植株生长高度 (cm) 后,用收获法剪取牧草地上部分,再将牧草根系逐个挖出测定根系长度 (cm),清洗后和地上部分一起在 $65^{\circ}C$ 的恒温下烘干称重,获得地上和地下生物量。本文分析时取生物量单株平均值,单位为 $g/株$ 。整个试验在无灌溉、施肥和除草的条件下进行。

在山体实验带,从 $3200m - 4300m$ 每 $200m$ 为梯度架设有简易微气象观测仪,观测项目包括 $10cm$ 、 $20cm$ 、 $50cm$ 的土壤温度和湿度, $1.5m$ 高处的空气温度和湿度。于 2006 年 7 月底开始长期观测,每 $0.5h$ 记录一次数据。由于坡地海拔 $3900m$ 以上基本为流石坡,植被稀疏,且多分布点地梅属 (*Androsace*) 等苔原气候环境下的植物,同时土层极为浅薄,故 $3900m$ 以上仅进行微气象观测,

未进行牧草的盆栽试验。

2 结果与分析

2.1 发芽率沿海拔高度的变化

种子发芽观测结果显示 (图 1), 中华羊茅仅在 $3400m$ 处发芽,发芽率为 69% ,其它高度 ($3200m$ 、 $3600m$ 和 $3800m$) 均未发芽。垂穗披碱草和冷地早熟禾在各处均可发芽,其中 $3400m$ 处发芽率最高,分别为 58% 和 25% , $3200m$ 处发芽率最低,分别为 37% 和 4% 。研究区处在南边为大板山、北边为冷龙岭 2 座高大山脉做屏障的大通河谷地区,降水量及季节分布基本一致。由于高寒草甸分布区域的自身特点,不同地方土壤湿度均较高,且滩地受地下水水位及不发生侧渗影响相对较高,可认为水分条件基本满足试验种子发芽的需求。由图 2 不同海拔高度 5 - 9 月土壤 $20cm$ 平均温度看到,其总的趋势是随海拔高度增加而下降,递减率为 $0.76^{\circ}C/100m$ 。在 $3200m$ 处土壤平均温度为 $11.1^{\circ}C$,到 $3800m$ 下降为 $6.3^{\circ}C$ 。虽然在日、月平均尺度上气温与土壤温度一样也是随海拔高度逐渐下降,但是因逆温层的存在,气温在不同海拔高度上的日变化有所不同。因试验在夏季进行,故列出了 2007 年 7 月气温平均日变化状况 (图 3)。由图 3 看出,日间 ($10:00 - 20:00$) 不同海拔高度的气温均在 $5^{\circ}C$ 以上,并随海拔高度增加而下降。但是从 $20:00 - 次日 10:00$,气温日变化曲线与白昼变化相反,表现出一定高程内气温随海拔高度升高而升高,说明区域逆温层强而且维持时间长。夜间坡地 ($3400 - 3800m$) 气温比滩地 $3200m$ 高,特别是 $22:00 - 次日 08:00$ 在 $3600 - 3800m$ 处气温比 $3200m$ 处高近 $4^{\circ}C$ 。在滩地 $3200m$ 处, $06:00$ 左右温度很低,个别天气还出现日最低气温低于 $0^{\circ}C$ 甚至低于 $-5^{\circ}C$ 的状况,因此,此处种植的牧草幼苗易受低温环境影响而被冻伤或冻死;同时滩地又是土壤湿度相对较高地区,高湿低温容易导致种子腐烂,因此, $3200m$ 处实验牧草种子的发芽率较低。在 $3400 - 3800m$ 处,虽然日间热量条件随海拔高度的增加比 $3200m$ 处越来越差,但夜间及早晨气温比 $3200m$ 处高,日最低气温大于 $0^{\circ}C$ 。统计发现,6 - 7 月,滩地 $3200m$ 处日最低气温 $0^{\circ}C$ 以下的日数占 2 个月总日数的 45% ,而 $3400 - 3800m$ 坡地上日最低气温 $0^{\circ}C$ 以下的日数只占 8% 左右。说明在海拔相对较高的区域冻害等可能减弱,同时海拔高,山坡地带风速大,下垫面蒸发明显,土壤湿度相对稍低,从而提高了牧草种子的萌发率。在 $3400 - 3800m$ 随海拔高度的增加,日间热量条件虽然下降,但相对而言, $3400m$ 处热量条件最好,故此牧草萌发率最高, $3600m$ 和 $3800m$ 处受热量条件的限制,发芽率依海拔高度的升高而下降,中华羊茅甚至不发芽。

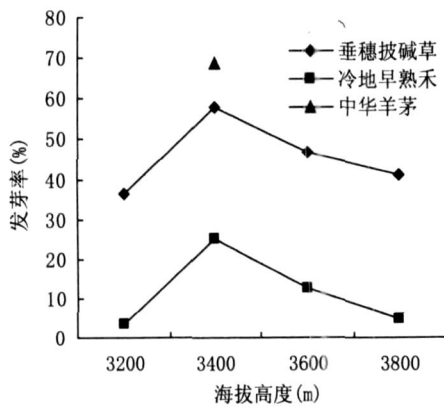


图 1 3 种牧草发芽率沿海拔高度的变化

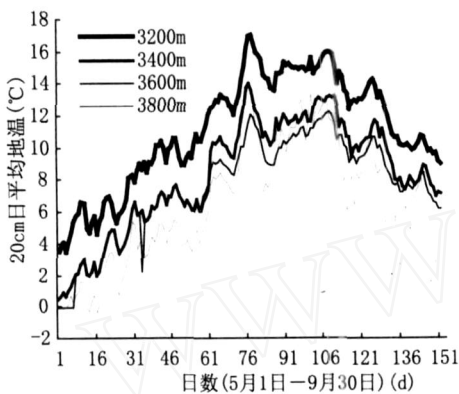


图 2 生长季节不同海拔高度 20cm 土壤日平均温度变化

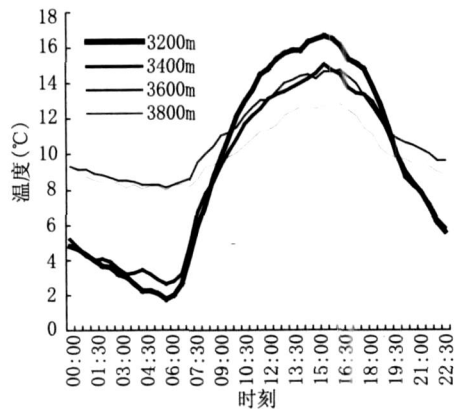


图 3 不同海拔高度 7 月份气温平均日变化

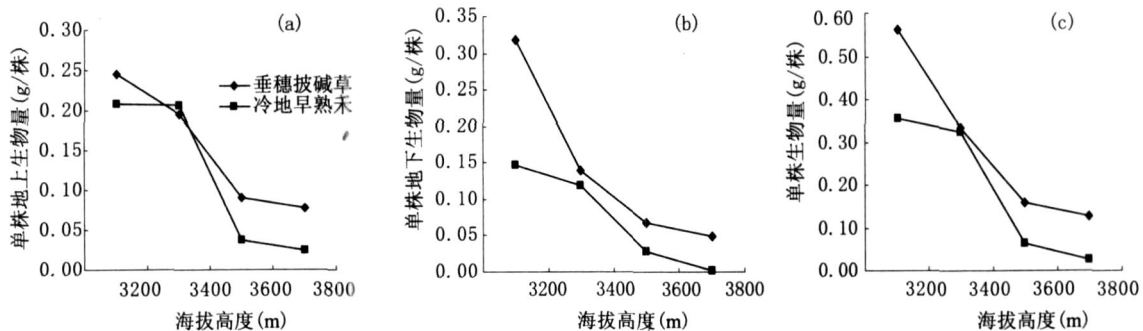


图 4 实验牧草地上 (a)、地下 (b) 及总生物量 (c) 沿海拔高度的变化

2.2 生物量、株高和根长沿海拔高度的变化

由于中华羊茅仅在 3400m 处发芽。故此处仅分析垂穗披碱草和冷地早熟禾生物量、株高和根长沿海拔高度的变化。图 4 分别给出了垂穗披碱草和冷地早熟禾个体平均地上、地下以及总生物量沿海拔高度的分布状况。由图 4a 和图 4b 可见,垂穗披碱草和冷地早熟禾的地上单株平均生物量和地下单株平均生物量都有海拔升高逐渐降低的特点。总的单株平均生物量(地上与地下之和)也表现出相同的变化规律(图 4c)。3400m 处冷地早熟禾与垂穗披碱草单株地上、地下生物量基本相同,差异不明显。其他不同海拔高度处垂穗披碱草的单株生物量均高于冷地早熟禾,在 3200m 处差别最大。从 3200m 到 3800m,垂穗披碱草和冷地早熟禾的平均地上、地下及总生物量平均递减速率分别为: 0.028g/100m、0.031g/100m、0.045g/100m、0.024g/100m 和 0.072g/100m、0.055g/100m。

不同海拔高度冷地早熟禾和垂穗披碱草的植株平均高度和根系平均长度变化见图 5。由图 5 可见,这两种草的平均株高和根系长度随海拔高度表现出相同的变化规律,其中以 3400m 处的最高(长),3200m 处次之,3600m 和 3800m 最小。两种植株相比,各试验点垂穗披碱草的平均株高和根系长度均比冷地早熟禾的高和长,特别是根长度差异比较明显。

与生物量联系来看,冷地早熟禾和垂穗披碱草植株高度及根系长度虽然在 3400m 最高,但生物量不论是地上还是地下却比 3200m 处低,这是由于逆温层存在(图 3),导致 3400m 处温度日较差小于 3200m 处,3200m 处日最低温度比 3400m 处低,日最高温度明显高于 3400m 处,而且在生长季,3200m 处日平均气温高于 3400m。相比较而言,在 3200m 处,日间温度高有利于生物量的快速积累,夜间温度低植物呼吸消耗下降,因此,试验牧草植株比较粗壮,长势比高海拔区好。在 3400m 以上,随海拔升高,热量条件逐渐下降,生物量、株高和根长均有所下降,但同类牧草在 3600m 和 3800m 之间的差异不显著。

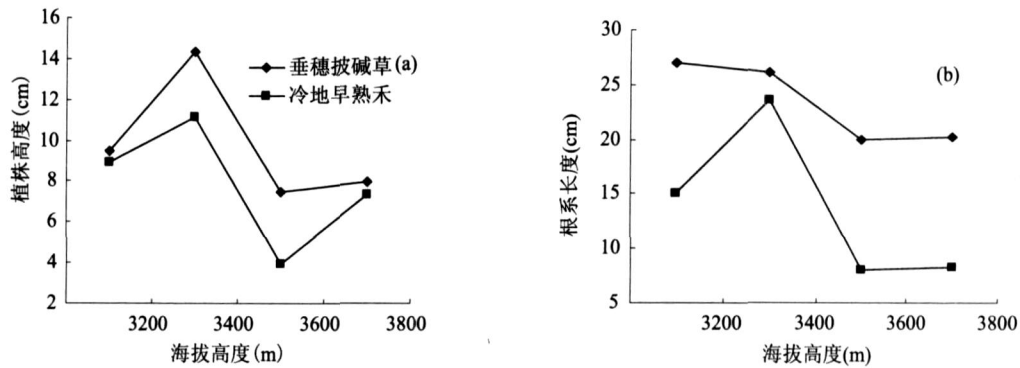


图 5 2种牧草单株植株高度 (a)和单株根系长度 (b)沿海拔高度的变化

3 结论与讨论

由于试验区域保持在 9km 范围 3200 - 3800m 的同一坡向的垂直高度上,因范围小可认为降水基本一致。除滩地土壤因无侧渗,且风速较小土壤表面蒸发小,导致土壤湿度稍高外,其他各点土壤湿度基本一致且相对较低。通过冷地早熟禾、中华羊茅和垂穗披碱草在不同海拔高度盆栽试验发现:(1)中华羊茅仅在 3400m 高度处发芽、生长,在其他高度上均未见发芽。垂穗披碱草和冷地早熟禾在不同的高度处均可发芽、生长,其中 3400m 处的发芽率最高。各点上垂穗披碱草的发芽率均高于冷地早熟禾。(2)垂穗披碱草和冷地早熟禾的地上、地下生物量沿海拔升高而降低。滩地 3200m 处温度日较差大,日间温度高,利于生物量的快速积累,而夜间温度低,甚至低于 -5°C ,低温降低植物呼吸消耗,导致滩地冷地早熟禾和垂穗披碱草地上、地下生物量干物质最大。(3)不同海拔高度处植株高度和根系长度不同,垂穗披碱草和冷地早熟禾在 3400m 处的植株高度和根系长度最大,其次为 3200m 处,而且各试验点上,垂穗披碱草的株高和根系长度普遍大于冷地早熟禾。

本试验条件下,在不同海拔高度上,垂穗披碱草的发芽率和地上、地下生物量均高于冷地早熟禾,是适合当地气候条件的优选品种。冷地早熟禾因为种子比较小,自身的生物特性决定了生长较缓慢,植株低矮,生物量较垂穗披碱草低^[12-13],但其茎叶柔嫩,营养丰富,耐践踏,也是放牧家畜的优良牧草。而且与垂穗披碱草一样,冷地早熟禾地下茎发达,能固结表土,有保持水土,防止雨水冲刷的作用,在斜坡或易于发生水土流失的草地种植更为适宜,对恢复草地生态平衡起到一定的作用,可增加植被盖度,减少风蚀和水蚀的危害。垂穗披碱草和冷地早熟禾在一年生长后根系绝大部分集中在 0 - 30cm 土层中^[14],根量较大,垂直分布较深,能够提供最佳的牧草吸收的营养面积,有利于提高株丛健康条件和抵抗不良外界环境影响,适应高寒草原地区低温和干

旱的极端条件。因此,垂穗披碱草和冷地早熟禾可以作为高寒草原地区 3800m 以下推广种植的首选牧草,而中华羊茅生长所需环境相对苛刻,不易在同类环境下生长。

参考文献:

- [1] 方国天. 高寒牧区牧草引种驯化初探 [J]. 中国草原与牧草, 1986, (3): 24-26
- [2] 施建军. 高寒牧区牧草引种及混播技术的研究 [J]. 青海畜牧兽医杂志, 2002, 32(5): 5-7.
- [3] 施建军, 马玉寿, 李青云, 等. 高寒牧区多年生禾草混播试验初报 [J]. 青海草业, 1999, (2): 5-7.
- [4] 石德军, 周青平, 陈功, 等. 青海环湖地区 7 种多年生禾草的引种试验 [J]. 草业科学, 1999, 16(4): 28-30.
- [5] 陈敏, 聂素梅, 马志广. 牧草引种试验报告 [J]. 中国草地, 1998, (2): 42-44.
- [6] 董世魁, 马金星, 蒲小朋, 等. 高寒地区多年生禾草引种生态适应性及混播组合研究 [J]. 草原与草坪, 2003, (1): 38-41.
- [7] 董世魁, 胡自治, 蒲小朋, 等. 高寒地区多年生禾草混播草地的生理生态特征研究 [J]. 草业学报, 2002, 11(4): 39-45.
- [8] 包成兰, 张世财. 5 种高禾草在高寒地区生产性状的比较 [J]. 草业科学, 2003, 20(8): 31-33.
- [9] 李英年, 赵新全, 曹广民, 等. 海北高寒草甸生态系统定位站气候、植被生产力背景的分析 [J]. 高原气象, 2004, 23(4): 558-566.
- [10] 乐炎舟, 左克成, 张金霞, 等. 海北高寒草甸生态系统定位站的土壤类型及其基本特点 [A]. 高寒草甸生态系统 [C]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982: 19-33.
- [11] 周兴民, 吴珍兰. 植被与植物检索表 [M]. 西宁: 青海人民出版社, 2006: 8-9.
- [12] 施建军, 李青云, 李发吉, 等. 高寒牧区多年生禾草引种试验初报 [J]. 青海畜牧兽医杂志, 2003, 33(3): 12-13.
- [13] 拉元山, 王金山. 黄河上游高寒地区建植人工草地一种试验 [J]. 草业科学, 2005, 22(7): 31-33.
- [14] 孙力安, 梁一民, 刘国彬. 草地地下生物量研究综述 [J]. 国外畜牧学草原与牧草, 1993, (1): 6-13.