贾倩民,陈彦云,韩润燕,等. 宁夏盐池次生盐碱地 4 种禾本科牧草的适应性及生产性能[J]. 江苏农业科学,2014,42(2):167 - 170.

宁夏盐池次生盐碱地 4 种禾本科牧草的适应性及生产性能

贾倩民[1], 陈彦云[1,2], 韩润燕[1], 陈科元[1], 仇红燕[2]

(1. 西部生态与生物资源开发联合研究中心/西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室,宁夏银川 750021;
2. 宁夏大学生命科学学院,宁夏银川 750021)

摘要:从美国和中国内蒙古引进 4 种多年生禾本科牧草,对其在宁夏盐池县次生盐碱地的适应性、生长发育、生产性能及品质进行了详细的比较,目的是筛选出适宜该地区种植的优良牧草。结果表明:垂穗披碱草与沙生冰草的适应性强,生长发育良好,干草产量高,分别为 249.88 g/m^2 和 215.65 g/m^2,显著高于蓝茎冰草和细茎披碱草($P<0.05$),且品质较好,可作为宁夏盐池次生盐碱地推广种植的优良牧草;蓝茎冰草苗期适应性较弱,但生长后期表现出较强的抗旱性,须采取保护措施提高保苗率,才可在当地推广种植;细茎披碱草适应性很弱,产量低且品质也差,不宜在当地种植。

关键词:宁夏盐池;次生盐碱地;禾本科牧草;适应性;生长发育

中图分类号: S543.01　　**文献标志码**: A　　**文章编号**:1002 - 1302(2014)02 - 0167 - 04

盐碱地是盐土与碱土以及各类盐化、碱化土壤的总称,其土体含有较多的盐碱成分,使大多数植物的生长受到不同程度的抑制,甚至不能成活[1]。宁夏回族自治区可耕地中,约有 1/6 为盐碱地,且盐渍化面积在不断增加[2-3]。盐池县位于宁夏东部干旱半干旱区,自然环境恶劣,降水稀少,蒸发强烈,风蚀严重,加之过度放牧、滥垦乱采、灌溉管理不善等人为因素,造成该地区大面积土地退化、沙化,土壤次生盐碱化加剧[4-6],自然生态系统十分脆弱,严重制约着当地经济和社会的可持续发展[7]。筛选、培育和种植耐盐碱植物,是改良利用盐碱地的有效措施之一[8-10]。牧草具有适应性广、抗盐性强等特性,是盐碱地种植的主要作物[11-12];但不同牧草的耐盐碱能力不同。本试验从国内外引进 4 种多年生禾本科牧草,对其适应性、生长发育、生产性能及品质进行了比较,旨在筛选出适合次生盐碱地种植的优良牧草,为发展草地畜牧业、改良盐碱地和改善生态环境提供科学依据。

1　材料和方法

1.1　试验区概况

试验区位于宁夏回族自治区东部盐池县,北纬 37°04′ ~ 38°10′,东经 106°30′ ~ 107°41′,该县北与毛乌素沙漠相连,南靠黄土高原,是半干旱区向干旱区的过渡地带。气候属于典型中温带大陆性气候,年均气温 8.1 ℃,极端最高与最低气温分别为 38.1 ℃和 - 29.6 ℃,≥10 ℃的年积温 2949.9 ℃,年降水量 280 mm,7 ~ 9 月较集中,年蒸发量 2 710 mm,无霜期 162 d。试验地为弃耕 9 年的盐碱地,土壤类型为风沙土,表层土壤(0 ~ 20 cm)有机质含量 0.62%,全盐含量 7.02 g/kg,pH 值 8.65。灌溉用水为地下水,含盐量高,水质较差。

1.2　试验方法

(1)供试草种:蓝茎冰草(*Agropyron smithii*)、沙生冰草(*A. desertotrum*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)和细茎披碱草(*E. rachycaulum*),试验牧草种子来源、品质及播种量见表 1。(2)试验设计:试验设 4 个处理,3 次重复,共 12 个小区,随机区组排列,小区面积 9 m^2(3 m × 3 m)。(3)播种方式及田间管理:2012 年 5 月 18 日播种,4 种牧草均条播,行距 30 cm,播深 2 ~ 3 cm。试验期间采用相同的管理措施,于播种前(5 月 16 日)、全苗后(6 月 10 日)各灌溉 1 次,不施肥,常规除草,严禁放牧。

表 1　供试草种来源、品质及播种量

牧草名称	种子来源	千粒重(g)	发芽率(%)	纯净度(%)	种子用价(%)	播种量(kg/hm^2)
蓝茎冰草	美国	2.47	83.5	94.5	78.9	21.1
沙生冰草	内蒙古	2.31	80.2	86.8	69.6	22.4
垂穗披碱草	内蒙古	2.79	81.8	91.3	74.7	25.2
细茎披碱草	美国	3.12	85.6	95.1	81.4	25.8

1.3　测定内容及方法

1.3.1　物候期观测　按播种期、分蘖期、拔节期、抽穗期、开花期、完熟期、枯黄期测记,有 50% 的植株进入某一物候期的日期定为该牧草处在这一物候期。

1.3.2　出苗率、保苗率及越冬率的测定　各小区选取代表性样条 1 m,全苗后测定出苗数,于出苗期末、拔节期前再次测定幼苗数,次年返青后(2013 年 4 月 12 日)测定返青数,重复 3 次,计算出苗率、保苗率、越冬率。计算公式为:保苗率 = 幼苗数/出苗数 × 100%;越冬率 = 返青数/幼苗数 × 100%。

1.3.3　株高和分蘖数的测定　各小区在全苗后固定选取有代表性的植株 10 株,每 15 d 测量 1 次绝对高度(将植株拉

收稿日期:2013 - 09 - 11

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2011BAC07B03)。

作者简介:贾倩民(1985—),男,河南商丘人,硕士研究生,研究方向为植物生理生态。E - mail:nxdxjqm@163.com。

通信作者:陈彦云,研究员,主要从事植物生理研究与教学工作。E - mail:nxchenyy@163.com。

直,从地面至植株最高部位的高度),取平均值,绘制株高变化动态。于生长末期(2012 年 9 月 12 日)测定每株牧草的分蘖数,取平均数。

1.3.4　茎叶比、鲜干比及鲜草产量的测定　各小区于牧草生长后期选取 1 m^2 样方刈割(不留茬),收割后称其牧草鲜重作为鲜草产量;再将牧草茎、叶分离,分别称其茎和叶的鲜重,烘干后称量茎和叶的干重,计算茎叶比、鲜干比。计算公式为:茎叶比 = 茎鲜重/叶鲜重;鲜干比 = 牧草鲜重/(茎干重 + 叶干重)。

1.3.5　根长、根冠比和生物量的测定　在牧草生长后期,各小区选取代表性植株样方 0.2 m^2(0.5 m×0.4 m),挖取完整植株,测量根长,烘干后测量地下根系干重作为根系质量,地上植株干重作为干草产量,重复 3 次,计算根冠比和生物量。计算公式为:根冠比 = 地下根系干重/地上植株干重;生物量 = 根质量 + 干草产量。

1.3.6　营养成分的测定　牧草生长后期的烘干样品(茎和叶)粉碎后进行常规分析,测定粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、粗灰分含量[13]。

1.4　数据分析

各指标数据采用 Excel 软件处理及绘图,方差分析利用 SPSS 软件用 Duncan's 法进行检验。

2　结果与分析

2.1　牧草的适应性

2.1.1　物候期　牧草的物候期见表 2。在次生盐碱地上 4 种牧草均能正常出苗,2 个冰草品种出苗较早,另 2 个披碱草品种出苗较晚,出苗最迟的细茎披碱草与出苗最早的蓝茎冰草相差 5 d。种植当年,垂穗披碱草分蘖、拔节最早。细茎披碱草分蘖最晚,且生长停留在分蘖期,没有拔节。4 种牧草中只有垂穗披碱草抽穗,约有 20% 的植株开花,但种子没有成熟。蓝茎冰草和沙生冰草大多数停留在分蘖至拔节期。

表 2　物候期的观察

牧草名称	播种期(月-日)	出苗期(月-日)	分蘖期(月-日)	拔节期(月-日)	抽穗期(月-日)
蓝茎冰草	05-18	05-29	06-17	07-22	
沙生冰草	05-18	05-30	06-19	07-25	
垂穗披碱草	05-18	06-1	06-16	07-20	08-21
细茎披碱草	05-18	06-3	06-21		

2.1.2　出苗率　播种前灌溉的条件下,4 种牧草出苗率(表 3)均超过 75%,都能正常出苗。出苗率大小为垂穗披碱草 > 沙生冰草 > 蓝茎冰草 > 细茎披碱草。对出苗率用 Duncan's 法进行方差分析,结果得出,各品种间差异不显著($P>0.05$)。

表 3　4 种牧草的出苗率、保苗率、越冬率

牧草名称	出苗率(%)	保苗率(%)	越冬率(%)
蓝茎冰草	75.85a	65.23b	82.40a
沙生冰草	76.83a	71.75ab	79.86a
垂穗披碱草	77.21a	73.82a	84.55a
细茎披碱草	75.74a	58.31c	67.14b

注:同列不同小写字母间表示差异显著($P<0.05$),下同。

2.1.3　保苗率　保苗率可反映牧草苗期在当地的适应情况,保苗率越高牧草苗期的适应性越强。由于 5 月下旬至 6 月上旬天气炎热,降雨极少,4 种牧草的保苗率(表 3)都在 75% 以下。保苗率大小为垂穗披碱草 > 沙生冰草 > 蓝茎冰草 > 细茎披碱草,其中垂穗披碱草与蓝茎冰草、细茎披碱草差异显著($P<0.05$),与沙生冰草差异不显著($P>0.05$),表明垂穗披碱草苗期适应性最强,沙生冰草次之,细茎披碱草最差。蓝茎冰草和细茎披碱草苗期有大量植株死亡,保苗率较低,说明苗期它们在盐碱地的适应性较差。

2.1.4　越冬率　牧草的越冬率受低温、干旱、土壤等因素的影响,越冬率的高低直接关系到牧草的适应能力。4 种牧草的越冬率(表 3)大小为垂穗披碱草 > 蓝茎冰草 > 沙生冰草 > 细茎披碱草,其中垂穗披碱草、蓝茎冰草和沙生冰草间差异均不显著($P>0.05$),但均显著($P<0.05$)高于细茎披碱草,表明这 3 种牧草在次生盐碱地的越冬能力较强,细茎披碱草越冬率低于 70%,越冬能力较差。

2.1.5　根冠比　在土壤干旱条件下,抗旱植物会增加根的重量,降低地上部分的生长量,增大根冠比,根冠比越大说明植物的抗旱性越强。4 种牧草的根冠比(表 4)大小为蓝茎冰草 > 沙生冰草 > 垂穗披碱草 > 细茎披碱草。其中蓝茎冰草较其他 3 种牧草差异显著($P<0.05$),垂穗披碱草和沙生冰草差异不显著($P>0.05$),但均显著($P<0.05$)高于细茎披碱草。表明在牧草生长后期,就根冠比而言,蓝茎冰草抗旱能力最强,其次是垂穗披碱草和沙生冰草,细茎披碱草抗旱能力最弱。

表 4　4 种牧草的根冠比、株高、根长、分蘖数

牧草名称	根冠比	株高(cm)	根长(cm)	分蘖数(个)
蓝茎冰草	0.92a	41.93a	42.66a	7.85a
沙生冰草	0.75b	36.81b	35.79b	5.72c
垂穗披碱草	0.73b	43.52a	36.12b	6.47b
细茎披碱草	0.55c	28.20c	25.54c	5.09c

2.2　牧草的生长发育

2.2.1　株高变化　4 种牧草的株高变化见图 1。出苗后蓝茎冰草生长最快,沙生冰草次之,垂穗披碱草和细茎披碱草生长较慢。8 月 6 日蓝茎冰草和沙生冰草的株高分别为 33.6 cm 和 29.5 cm,分别占其最终株高的 80.6% 和 80.1%,株高已基本形成,而此时垂穗披碱草和细茎披碱草株高较低。8 月 21 日之后,垂穗披碱草株高增幅较大,其他 3 种牧草增幅较小。蓝茎冰草和沙生冰草的株高变化相似,生长速度高峰均出现在 7 月 7—22 日,而垂穗披碱草和细茎披碱草的株高变化相似,生长速度高峰均出现在 7 月 22 日至 8 月 6 日。种植当年 4 种牧草的最终株高(表 4)大小为垂穗披碱草 > 蓝茎冰草 > 沙生冰草 > 细茎披碱草,垂穗披碱草和蓝茎冰草差异不显著($P>0.05$),但两者均显著($P<0.05$)高于沙生冰草和细茎披碱草,细茎披碱草最终株高为 28.20 cm,显著($P<0.05$)低于其他 3 个品种。

2.2.2　根长　根的入土深度已被认为是抗旱的一个重要特征[14],干旱情况下,植物根系入土越深,其抗旱性越强。4 种牧草的根长(表 4)大小为蓝茎冰草 > 垂穗披碱草 > 沙生冰草 > 细茎披碱草,其中蓝茎冰草根长显著($P<0.05$)高于其他 3 个品种;垂穗披碱草和沙生冰草差异不显著,两者均显著

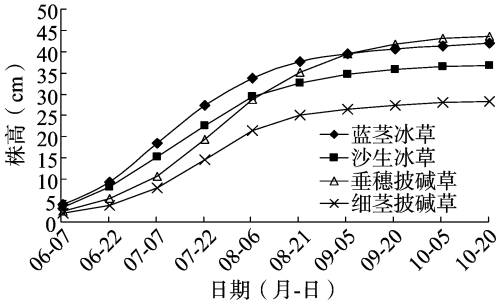

图1　4种和本科牧草的株高变化

($P<0.05$)高于细茎披碱草。表明就根长而言,蓝茎冰草生长后期抗旱性最强,其次是垂穗披碱草和沙生冰草,细茎披碱草抗旱性最弱。

2.2.3　分蘖数　禾本科牧草的分蘖在一定程度上影响其生长发育、抗逆性及产量的高低[15]。4 种牧草的分蘖数大小(表4)依次为蓝茎冰草 > 垂穗披碱草 > 沙生冰草 > 细茎披碱草,其中蓝茎冰草为每株 7.85 个,与其他 3 种牧草差异显著($P<0.05$),垂穗披碱草显著高于沙生冰草和细茎披碱草($P<0.05$),沙生冰草和细茎披碱草差异不显著($P>0.05$)。

2.3　生产性能

2.3.1　鲜草产量　4 个牧草品种的鲜草产量大小为垂穗披碱草 > 蓝茎冰草 > 沙生冰草 > 细茎披碱草,其中垂穗披碱草鲜草产量达 732.16 g/m^2,显著高于其他 3 种牧草($P<0.05$),蓝茎冰草和沙生冰草差异不显著($P>0.05$),但两者均显著高于细茎披碱草($P<0.05$)。细茎披碱草生长情况较差,鲜草产量只有 310.71 g/m^2(表5)。由此表明,垂穗披碱草在当地不仅适应性最强,生产性能也最高,其次是蓝茎冰草和沙生冰草,细茎披碱草适应性及生产性能均最差。

表5　4 种牧草的产量、根质量及生物量

牧草名称	鲜草产量 (g/m^2)	干草产量 (g/m^2)	根系质量 (g/m^2)	生物量 (g/m^2)
蓝茎冰草	640.65b	194.14c	178.61a	372.74b
沙生冰草	625.38b	215.65b	161.74b	377.38b
垂穗披碱草	732.16a	249.88a	182.42a	432.30a
细茎披碱草	310.71c	99.91d	54.96c	154.86c

2.3.2　干草产量　干草产量大小为垂穗披碱草 > 沙生冰草 > 蓝茎冰草 > 细茎披碱草,各牧草品种差异显著($P<0.05$)。其中垂穗披碱草干草产量最高,为 249.88 g/m^2,其次是沙生冰草和蓝茎冰草,细茎披碱草最低,干草产量只有 99.91 g/m^2(表5)。

2.3.3　根系质量　根系的分布和质量由于影响到植物拥有地下空间的大小和对土壤营养及水分的利用,直接影响到地上部分产量的高低,尤其是干旱半干旱地区土地生产力高低的主要决定因素[16-17]。4 个牧草品种的根系质量大小为垂穗披碱草 > 蓝茎冰草 > 沙生冰草 > 细茎披碱草,其中垂穗披碱草和蓝茎冰草差异不显著($P>0.05$),但两者均显著高于沙生冰草和细茎披碱草($P<0.05$),细茎披碱草根系质量最小,只有 54.96 g/m^2,显著低于其他 3 个牧草品种($P<0.05$)(表5)。

2.3.4　生物量　生物量大小为垂穗披碱草 > 沙生冰草 > 蓝茎冰草 > 细茎披碱草,与干草产量大小顺序表现一致,同样是垂穗披碱草生物量最高,显著高于其他 3 个牧草品种($P<0.05$),沙生冰草和蓝茎冰草差异不显著($P>0.05$),两者均显著高于细茎披碱草($P<0.05$)(表5)。

2.4　牧草品质

2.4.1　鲜干比　牧草鲜重与干重的比值称为鲜干比,它与牧草品质呈正相关,鲜干比越高,蛋白质的含量就越高,适口性就越好[18-19]。4 个牧草品种的鲜干比大小为蓝茎冰草 > 细茎披碱草 > 垂穗披碱草 > 沙生冰草,其中蓝茎冰草的鲜干比为 3.3,与细茎披碱草差异不显著($P>0.05$),但显著高于垂穗披碱草和沙生冰草($P<0.05$),细茎披碱草、垂穗披碱草和沙生冰草间差异均不显著($P>0.05$)(表6)。表明美国进口的蓝茎冰草适口性最好,其次是细茎披碱草,从内蒙古引进的垂穗披碱草和沙生冰草适口性较差。

2.4.2　茎叶比　茎叶比大小可反映牧草品质的高低,茎叶比越小,牧草的叶含量越高,品质就越好[20]。4 个牧草品种的茎叶比大小为沙生冰草 > 垂穗披碱草 > 细茎披碱草 > 蓝茎冰草,其中蓝茎冰草的茎叶比为 0.55,与细茎披碱草差异不显著($P>0.05$),与沙生冰草和垂穗披碱草差异显著($P<0.05$),沙生冰草茎叶比最大,与垂穗披碱草差异不显著($P>0.05$),与细茎披碱草差异显著($P<0.05$)(表6)。以上表明:美国进口的蓝茎冰草和细茎披碱草叶含量高,品质较好;国内品种沙生冰草和垂穗披碱草叶含量少,品质略差。

表6　4 种牧草的鲜干比、茎叶比和营养成分含量

牧草名称	鲜干比	茎叶比	粗蛋白 (%)	粗纤维 (%)	粗脂肪 (%)	粗灰分 (%)
蓝茎冰草	3.30a	0.55c	11.87a	27.66b	3.76a	12.01a
沙生冰草	2.90b	0.65a	10.32b	30.59ab	3.97a	9.85b
垂穗披碱草	2.93b	0.62ab	9.97bc	31.33a	4.14a	8.54c
细茎披碱草	3.11ab	0.58bc	9.20c	30.63ab	3.95a	9.11bc

2.4.3　营养成分　4 个牧草品种均在生长后期取样,营养成份含量见表6。粗蛋白含量大小为蓝茎冰草 > 沙生冰草 > 垂穗披碱草 > 细茎披碱草,其中蓝茎冰草粗蛋白含量显著高于其他 3 个牧草品种($P<0.05$),沙生冰草与垂穗披碱草差异不显著($P>0.05$),与细茎披碱草差异显著($P<0.05$),2 个披碱草品种间差异不显著($P>0.05$)。粗纤维含量大小为垂穗披碱草 > 细茎披碱草 > 沙生冰草 > 蓝茎冰草,其中垂穗披碱草和蓝茎冰草差异显著($P<0.05$),其他牧草品种间差异均不显著($P>0.05$)。粗脂肪含量大小为垂穗披碱草 > 沙生冰草 > 细茎披碱草 > 蓝茎冰草,各品种间差异不显著($P>0.05$)。粗灰分含量大小为蓝茎冰草 > 沙生冰草 > 细茎披碱草 > 垂穗披碱草,其中蓝茎冰草与其他 3 个牧草品种差异显著($P<0.05$),沙生冰草与细茎披碱草差异不显著($P>0.05$),与垂穗披碱草差异显著($P<0.05$)。

3　讨论

3.1　适应性和生长发育

盐池县位于宁夏东部干旱半干旱区,降雨极少,且灌溉条件差,夏季高温,冬季严寒干旱,春季风大沙多,试验地土壤盐渍化较为严重,这都限制了牧草的正常生长和越冬。在播种前地下水灌溉的条件下,4 种牧草出苗率差别不大($P>0.05$),但因 6 月上旬降雨极少,保苗率都在 75% 以下且牧草

间差别较大。垂穗披碱草和沙生冰草苗期的适应性较强,这与成红等的研究结果[21]相一致。蓝茎冰草和细茎披碱草苗期适应性较差,尤其是细茎披碱草,全苗后有大量幼苗枯黄死亡,致使保苗率在 60% 以下。4 种牧草中细茎披碱草的越冬率只有 67% ,越冬能力较差,其他 3 个品种都在 75% 以上,越冬能力较强。在次生盐碱地种植当年,4 种牧草都未完成生活史,大多数生长停留在分蘖至拔节期,只有垂穗披碱草抽穗,少数开花但种子未完熟,细茎披碱草生长停留在分蘖,生长发育受到限制。4 种牧草出苗后的株高增长较快,生长速度高峰都出现在 7 月中下旬,在 8 月 21 日都基本完成其株高生长的 90% 以上。蓝茎冰草植株较高,分蘖数最多,根长最长,生长状况最好,并且它的根长大于株高,为 42.66 cm,根冠比最大,生长后期表现出较强的抗旱性,这与常根柱等的研究结果[22]相似。垂穗披碱草株高最大,分蘖数较多,生长状况仅次于蓝茎冰草。沙生冰草苗期生长较快,但最终株高不及垂穗披碱草和蓝茎冰草,根长较短,分蘖数较少,种植当年生长发育状况一般。细茎披碱草株高最低,根长最短,分蘖数最少,生长发育状况较差。

3.2 生产性能和品质

由于试验区土壤盐碱化程度高且养分贫瘠,种植当年 4 种牧草产量普遍较低。其中,垂穗披碱草的干草产量和生物量都显著高于其他牧草,生产性能最好。沙生冰草的干草产量和生物量次于垂穗披碱草,生产性能较好。蓝茎冰草由于保苗率较低,干草产量和生物量低于沙生冰草,生产性能一般。细茎披碱草不仅适应性最差,生产性能也很差。从整体看,2 种美国进口的牧草适口性好,叶含量高,品质优于国内同类品种,但在该地区生长发育受到限制,适应性及干草产量不及国内品种。

4 结论

在宁夏干旱半干旱区垂穗披碱草与沙生冰草的适应性较强,可作为次生盐碱地大面积推广种植的牧草材料。美国进口的蓝茎冰草苗期适应性较差,但生长后期表现出较强的抗旱性,须采取保护措施提高保苗率,才可在当地大面积种植。细茎披碱草适应性很差,不宜种植。

种植当年,垂穗披碱草与沙生冰草生长发育良好,干草产量高,品质较好,可作为宁夏干旱半干旱区的优良饲料来源。细茎披碱草生长状况较差,产量低且品质差,不能作为饲料来源。蓝茎冰草品质最好,但苗期适应性较差,在次生盐碱地,是否可通过遮阴、施肥和增加灌溉等措施来提高牧草的适应性及产量有待进一步研究。

参考文献:

[1]唐旭日. 盐碱地改良模式现状及探索[J]. 江苏农业科学,2011,39(6):595 - 597.

[2]余 美,芮孝芳. 宁夏盐碱地改良利用研究进展[J]. 水利水电科技进展,2006,26(6):85 - 89,94.

[3]熊向云,杨佳隆,李效禹,等. 宁夏黄河灌区盐碱地不同苜蓿品种种植试验[J]. 草业科学,2005,22(11):36 - 39.

[4]韦丽君,宋乃平,卞莹莹,等. 宁夏盐池县草场退化因素析[J]. 水土保持通报,2007,27(1):122 - 125.

[5]冯 锐,苗济文,王平武,等. 宁夏盐碱土改良工作 50 年回顾与展望[J]. 宁夏农林科技,2000(1):25 - 30.

[6]何三强,石春太,陈 听,等. 盐池扬黄灌区土壤次生盐渍化发生现状及对策[J]. 宁夏农林科技,2004(2):39 - 40.

[7]李世忠,徐 坤,谢应忠. 浅谈宁夏半干旱地区牧草产业的可持续发展[J]. 中国草地,2005,27(3):75 - 77.

[8]Sheng L Y. Short term effects of saline irrigation on evapotranspiration from lysimeter - grown citrus trees[J]. Agricultural Water Management,2002,56:114 - 131.

[9]Jacoby B. Mechanisms involved in salt tolerance by plants[M]//Pessarakli M. Handbook of plant and crop stress. New York: Marcel Dekker,1993:97 - 123.

[10]李志丹,干友民,泽 柏,等. 牧草改良盐渍化土壤理化性质研究进展[J]. 草业科学,2004,21(6):17 - 21.

[11]谢振宇,杨光穗. 牧草耐盐性研究进展[J]. 草业科学,2003,20(8):11 - 17.

[12]程云辉,周卫星,王永霞,等. 沿海滩涂盐渍化地上几种耐盐牧草的筛选试验[J]. 江苏农业科学,2003(3):61 - 63.

[13]杨 胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993:1 - 63.

[14]苏日古嘎. 禾本科牧草抗旱、耐寒、耐贫瘠特性比较研究[D]. 呼和浩特:内蒙古师范大学,2007.

[15]李淑娟,周青平,颜红波,等. 4 种披碱草属野生牧草在高寒地区农艺性状及生产性能的评价[J]. 草原与草坪,2007(2):34 - 36.

[16]Stone E L,Kalisz P J. On the maximum extent of tree roots[J]. Forest Ecology and Management,1991,46:59 - 102.

[17]Jackson R B,Canadell J,Mooney H A. Aglobal analysis of root distribution for terrestrial biomes[J]. Oecologia,1996,180:389 - 411.

[18]刘大林,邱伟伟,马晶晶,等. 不同紫花苜蓿品种在长江中下游地区生产性能的比较[J]. 江苏农业科学,2011,39(6):332 - 334.

[19]李建伟,陈本建,张利平,等. 高寒山区 6 种多年生牧草生长发育特性研究[J]. 草原与草坪,2011,31(6):69 - 74.

[20]杨红善,常根柱,周学辉,等. 美国引进苜蓿品种半湿润区栽培试验[J]. 草业学报,2010,19(1):121 - 127.

[21]成 红,栗贵生,张小勤,等. 多年生禾本科牧草在宁南黄土丘陵区的表现[J]. 当代畜牧,2009(2):42 - 44.

[22]常根柱,杨志强,杨红善. 美国蓝茎冰草、中间偃麦草、高冰草引种试验[J]. 草业科学,2009,26(3):68 - 71.