

文章编号:1673-5021(2007)02-0013-13

高山草甸垂穗披碱草人工草地群落特征及稳定性研究

周华坤,赵新全,赵亮,韩发,古松

(中科院西北高原生物研究所,青海 西宁 810001)

摘要:通过对江河源区人工草地建成后植被恢复效果、生长动态、植物群落特征、环境因子及其演替的分析表明:植物生长季节,垂穗披碱草人工、半人工草地地上生物量和高度的增长趋势符合“慢(初期)-快(中期)-慢(后期)”的S型规律,植被盖度的增长趋势符合“快(初期)-慢(中期)-慢(后期)”的规律。人工草地建植后第二年,物种多样性指数、生物量、优势种群特征、草场质量和土壤特征因不同草地类型而有所变化。人工草地在建成后4年内植物群落由“生产稳定性”急剧向“生态稳定性”转化,呈现出明显的退化态势,退化原因与毒杂草侵入和有效养分逐步匮乏有关。加强高寒地区人工草地建成以后的后期管理如灭杂、灭鼠、施肥和禁止放牧等,对防止人工草地退化,提高利用效率,保证垂穗披碱草人工草地生产稳定性与生态稳定性之间的平衡极为重要。

关键词:高山草甸;垂穗披碱草;人工草地;群落

中图分类号:S812.8

文献标识码:A

人工草地不仅在农牧业生产和发展中占有重要地位,而且在环境保护和环境产业中极具重要意义^[1]。大量实践证明,发展多年生人工草地是解决青藏高原高寒草地高效生产和持续发展矛盾的一条重要途径,有助于减轻天然草地放牧压力,防止草地退化,是保护生物多样性、改善生态环境、维持生态平衡的重要措施,是现代集约化草地畜牧业的必由之路^[2-4]。青藏高原高寒地区退化草地生态系统中,人工草地具有创造新的草地生产力和改善草地生态环境的双重功能^[5]。据不完全统计,目前青藏高原江河源区约有 $357.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 退化草地,约占草地总面积的1/3,其中严重退化草地面积约 $95.66 \times 10^4 \text{ hm}^2$,约占退化草地面积的26.79%^[6,7],这已经威胁到当地的生态环境、生物多样性保护和畜牧业经济的发展,而江河源区的重度退化草地一般都用建立不同类型的人工草地加以综合恢复治理^[8,9]。为了更清楚地了解江河源区人工草地的群落组成、结构和功能,有效地实现人工草地的高效培育和合理利用,使其生产和生态功能得以全面发挥,本研究对垂穗披碱草(*Elymus nutans*)人工草地进行了研究,以期通过对人工、半人工草地建成后的植被恢复效果、生长动态、植物群落特征以及稳定性演变趋势等的分析,为高寒地区集约化草地畜牧业发展、退化草地治理和生态环境建设中人工草地的建植和管理提供基础资料和基本依据。

1 研究地点与方法

1.1 研究地点

研究选在青海省果洛藏族自治州玛沁县军牧场地区进行。地理位置为 $34^{\circ}20' \sim 34^{\circ}22' \text{ N}$ 、 $100^{\circ}29' \sim 100^{\circ}30' \text{ E}$,平均海拔4120m,范围3800~4800m。该地区为典型的高原大陆性气候,无四季之分,仅有冷暖季之别,冷季漫长、干燥而寒冷,暖季短暂、湿润而凉爽。温度年差较小而日差较悬殊,太阳辐射强烈。日照充足,年平均在2500h以上,年总辐射量 $623.8 \sim 629.9 \text{ KJ cm}^{-2}$ 。冷季持续时间长7~8个月,且风大雪多;暖季湿润,长4~5个月。平均气温在0℃以下,全年无绝对无霜期。年降水量为420~560mm,多集中在5~10月份。土壤为高山草甸土和高山灌丛草甸土,土壤表层有机质含量丰富。矮嵩草甸为该地区主要的冬春草场,建群种为矮嵩草(*Kobresia humilis*),主要的伴生种有:小嵩草(*K. pygmaea*)、二柱头薹草(*Scirpus distigmaticus*)、垂穗披碱草、早熟禾(*Poa* spp.)、异针茅(*Stipa aliena*)、短穗兔耳草(*Lagotis brachystachya*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)、细叶亚菊(*Ajania tenuifolia*)、兰石草(*Lancea tibetica*)、美丽风毛菊(*Saussurea superba*)等。

收稿日期:2006-04-27;修回日期:2006-12-20

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2005CB422005);中科院“西部之光”人才培养计划项目(cjc050175);中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-339-04);中国科学院“百人计划项目”(0429091211);西部开发科技行动项目(2005BA901A20);青海省重点科技攻关项目(2005-N-117)

作者简介:周华坤(1974-)男,博士,主要从事植物生态学研究。

1.2 人工草地和半人工草地的建植

人工草地建植在天然草地退化严重的冬季草地上,地势较平坦,便于机械操作和管理。采用“翻耕+耙耱+撒播+轻耙+镇压”的农艺措施,选用垂穗披碱草播种,小部分地块选用垂穗披碱草和星星草(*Puccinellia tenuiflora*)混播(4:1),播种量为 37.5 kg/hm²。以 150kg/hm² 磷酸二铵作基肥,2002 年 5 月中旬开始建植,面积 1330 hm²。半人工草地面积约 667 hm²,在 2002 年 6 月上旬采用“耙耱+撒播+轻耙+镇压”改良措施,选用的牧草品种、播种量和基肥量与人工草地相同。以未采取任何治理措施的重度退化草地作为对照。

1.3 野外调查与取样

2002 年 7~9 月、2003 年 5~9 月下旬在对照样地、单播人工草地、单播半人工改良草地、混播人工草地进行地上生物量、群落高度、盖度和生长发育期的监测。2002 年和 2003 年 8 月下旬,在植物生长旺盛期进行植物群落调查,包括植物种群的高度、盖度、密度和分种生物量,样方面积 1/16m² (25cm × 25cm),每个样地随机重复取样 6 次。同时,对该地区 2000 年建植的垂穗披碱草单播人工草地进行群落调查。每个样方调查完毕后,采用收割法齐地面刈割,带回实验室按不同种分开,80℃ 烘箱内烘干至恒重,称重并分类。表层 10cm 处的土壤干容重在 2002 年 8 月下旬测定,养分和水分分别在 2003 年 8 月采样并分析测定。

1.4 土壤特性测定

按照内蒙古草原土壤退化的进程和评价指标^[10],在 2003 年 8 月测定各样地的土壤特征参数。在各样地内采集 0~20cm 表层土壤,4 次重复,取混合样,经过预处理后分别进行速效氮、速效磷、速效钾、全氮、全磷、全钾、有机质、全盐量的测定^[11],其中:速效氮用氯化钾浸提蒸馏法;速效磷用硫酸钼锑抗比色法;速效钾用火焰光度法;全氮用重铬酸钾硝化蒸馏法;全磷用钼锑抗比色法;全钾用火焰光度法;有机质采用重铬酸钾氧化-稀释热法;全盐量用质量法。另外,湿土容重用 HY-1000 土壤容重仪测定,土壤含水量的测定用 AZS-2 土壤水分探测仪,每个样地内重复测定 15 次。

1.5 数据分析

各个植物种群的重要值(IV)按下式计算,重要

值 = (相对盖度 + 相对地上生物量) / 2 × 100^[12]。

生物多样性指数^[13]的计算包括:

(1) $S = n$

式中 n 是样方中的物种数(丰富度指数);

(2) Shannon - Wiener 指数 $H = - \sum_{i=1}^S (P_i \cdot \ln P_i)$

式中 P_i 是种 i 的相对重要值(物种多样性指数);

(3) Pielou 指数

$E_i = H / \ln(S)$ (均匀度指数);

牧草质量按张大勇等^[14]提出的草场质量指数(Index of grassland quality, IGQ)来评价。牧草按其适口性划分为 5 类(优、良、中、差、毒),适口性值依次为 3, 2, 1, 0, -1。

$IGQ = \sum_{i=1}^3 (i \cdot S_i)$

式中, i 是不同种的适口性值; S_i 为样方中各个种的分盖度。

试验数据采用 SPSS 软件进行统计分析,多重比较采用 Duncan 多重比较方法。

2 结果与分析

2.1 人工、半人工草地建成后的植被恢复效果和生长动态

通过研究人工、半人工草地建成后的植被恢复效果和生长动态可以认识人工草地群落在生长季节内的生长模式和不同草群在整个时间序列上的整体增长趋势,进而为实现人工草地的生长调控奠定基础。

2.1.1 地上生物量动态

人工、半人工草地建成当年(2002 年),地上生物量比对照样地稍高一些但差异不显著;建成后第二年(2003 年)尤其从 7 月开始,单播人工草地、混播人工草地和半人工草地的生物量都显著高于对照退化草地(图 1, $p < 0.01$)。从 6 月下旬到 8 月下旬之间地上生物量增速最快,9 月底则由于接近枯黄期,地上生物量略有下降。以地上生物量最高的 2003 年 8 月下旬为例,各人工草地的地上生物量干重可达重度退化草地的 7~8 倍。可以看出,2003 年 5~9 月植物生长季节,人工、半人工草地地上生物量的增长趋势基本符合“慢(初期)-快(中期)-慢(后期)”的 S 型模式(图 1),如果转化为生长速度,则呈倒 V 型模式。

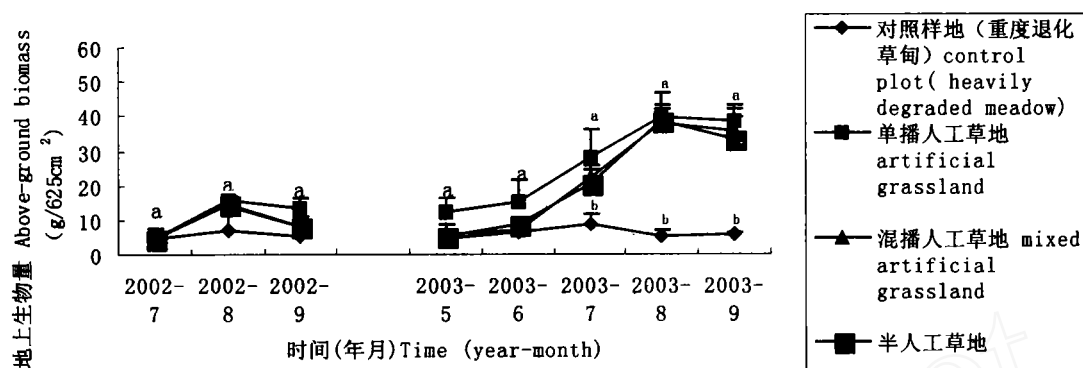


图1 人工、半人工草地建植后的地上生物量动态

Fig. 1 The dynamics of aboveground biomass after the establishment of semi-artificial and artificial grassland

2.1.2 植物群落盖度动态

单播人工草地建成当年植被盖度比对照退化草甸有了很大提高,混播人工草地和半人工草地则稍有提高。2003 年生长季节,各人工草地的盖度都比对照高,9 月达到最大(图 2)。在 6 月底到 7 月底植

被盖度的增加速率最高,以后增加缓慢。2003 年 5~9 月植物生长季节,植被盖度的增长趋势基本符合“快(初期) - 慢(中期) - 慢(后期)”的规律(图 2)。各人工草地建成后植被盖度的变化规律是一致的,都是逐渐增加的。

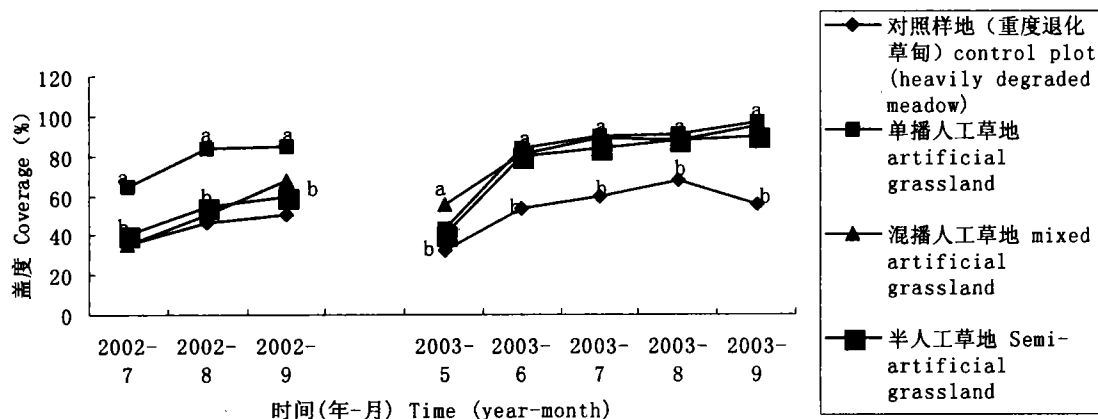


图2 人工、半人工草地建植后的植被盖度

Fig. 2 The vegetation coverage after the establishment of semi-artificial and artificial grassland

2.1.3 植物群落高度动态

植被高度的变化与地上生物量的变化类似,建成当年(2002 年)比对照样地稍高但差异不显著,建成后第二年(2003 年)尤其从 7 月开始,单播人工草地、混播人工草地和半人工草地的植物群落高度都显著高于对照退化草甸(图 3, $p < 0.01$)。7 月下旬到 8 月下旬之间高度增速最快,8 月下旬到 9 月底之间则没有太大变化,对照退化草甸的植被高度没有太大变化(图 3)。可以看出,2003 年 5~9 月植物生长季节,人工、半人工草地植被高度的增长趋势符合“慢(初期) - 快(中期) - 慢(后期)”的 S 型模式

(图 3),如果转化为生长速度,则呈倒 V 型模式生长,这和董世魁等^[4]在甘肃省天祝县不同类型混播人工草地中的研究结果是一致的。

人工、半人工草地建成后地上生物量、植被高度和盖度的变化与人工草地中优势种——垂穗披碱草的生长发育节律密切相关。建植当年,到 9 月下旬枯黄期来临以前,垂穗披碱草完成了分蘖期,但只有 20% 以下的垂穗披碱草处于孕穗或抽穗期,所以到 2002 年 9 月人工、半人工草地的植被盖度较高,而高度和地上生物量没有明显提高。到 2003 年 6 月底,垂穗披碱草完成了分蘖期,植被盖度增加到

80 % 以上(图 2);此后开始拔节抽穗,到 8 月底 90 % 以上的垂穗披碱草和星星草完成抽穗期,进入灌浆和乳熟期,所以到 8 月底植被高度也最高(图 3)。伴随着播种牧草的生长发育,加上较理想的水热条

件搭配,光合产物大量积累,所以从 6 月底到 8 月底也是地上生物量增加速度最快的阶段(图 1)。9 月以后草群基本停止生长,处于枯黄衰老期,生长速度下降甚至负增长。

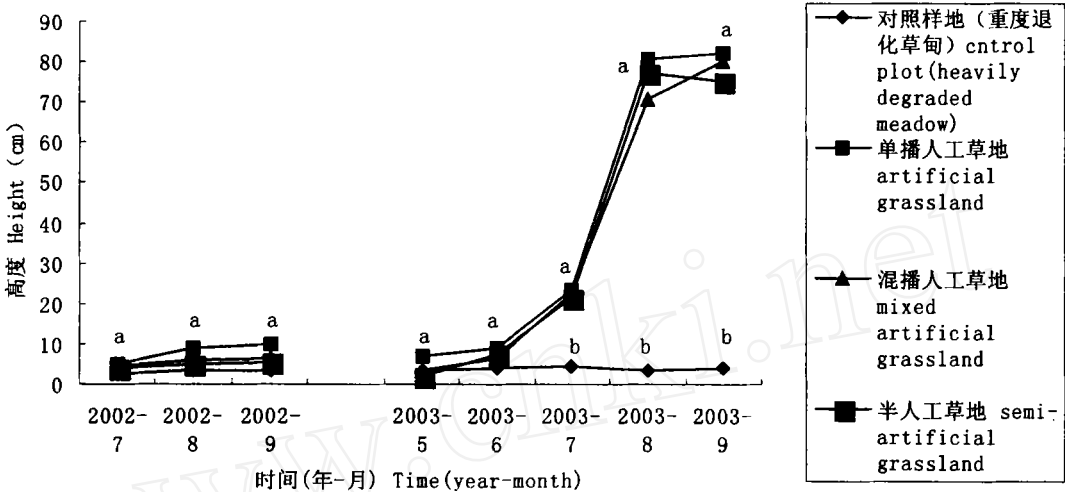


图 3 人工、半人工草地建植后的植被高度

Fig. 3 The vegetation height after the establishment of semi-artificial and artificial grassland

总的来看,人工草地建成后第 2 年,植物群落的高度、盖度和地上生物量都有了很大提高,初步体现了较为理想的恢复效果,但其群落结构和初级生产量是否稳定还需要进一步监测。

2.2 人工、半人工草地群落特征及环境因子

2.2.1 物种多样性的变化

2002 年各类人工草地建植后,物种丰富度明显下降,方差分析差异显著 ($F_{3,20} = 7.100, p < 0.01$)。经多重比较检验,不同人工草地间差异不显著,而与对照样地之间的物种丰富度差异显著(表 1)。2003

年各类人工草地和对照之间的物种丰富度差异仍然显著 ($F_{3,20} = 3.657, p < 0.05$),但不同人工草地之间差异不显著(表 1)。与 2002 年相比,虽然各类样地的物种丰富度在 2003 年都有所下降,但差异都不显著 ($p > 0.05$)。各人工草地出现的植物种总数之间差异比较小,与对照相比都有所下降(表 1),这种变化情况与物种丰富度变化相似。2003 年,各人工草地中出现的物种总数比 2002 年略有下降或保持不变(表 1)。

表 1 人工草地和对照样地的物种丰富度、物种总数、物种多样性和均匀度(25 × 25cm²)

Table 1 The species richness, species number, species diversity and evenness of artificial grasslands and control plot

指数 Index	年 Year	单播人工草地 Artificial grassland	混播人工草地 Mixed artificial grassland	半人工草地 Semi-artificial grassland	对照样地 Control plot (Heavily degraded meadow)
物种丰富度	2002	7.00 ^a ±1.55	6.17 ^a ±0.75	6.83 ^a ±1.47	10.33 ^b ±2.58
Species richness	2003	5.67 ^a ±1.97	5.33 ^a ±3.27	5.33 ^a ±1.51	9.83 ^b ±3.87
物种总数	2002	18	15	15	22
Species number	2003	15	14	15	25
物种多样性	2002	0.54 ^a ±0.13	0.75 ^a ±0.07	0.79 ^a ±0.27	1.58 ^b ±0.46
Species diversity	2003	0.55 ^a ±0.10	0.69 ^a ±0.11	0.50 ^a ±0.11	1.58 ^b ±0.30
均匀度	2002	0.28 ^a ±0.03	0.41 ^a ±0.05	0.42 ^a ±0.15	0.68 ^b ±0.18
Evenness	2003	0.33 ^a ±0.06	0.62 ^b ±0.18	0.31 ^a ±0.07	0.76 ^b ±0.15

注:表中数据为平均值 ±标准差;各行数据右上角如有相同字母,则差异不显著($p > 0.05$)。
Note: The data at the table are showed by average value ± standard division. Data with the one same letter in same row are not significantly different ($P > 0.05$).

2002 年各类人工草地建植后,物种多样性指数和均匀度指数都有明显地下降,经过方差分析,差异显著 ($F_{3,18}$,多样性指数 = 13.853, $p < 0.01$; $F_{3,18}$,均匀度指数 = 9.353, $p < 0.01$)。经过多重比较检验,不同人工草地间差异不显著,而与重度退化对照样地之间差异显著(表 1)。2003 年各类人工草地和对照之间的物种多样性指数和均匀度指数差异依然显著 ($F_{3,17}$,多样性指数 = 46.004, $p < 0.01$; $F_{3,17}$,均匀度指数 = 18.615, $p < 0.01$),其中不同人工草地之间多样性指数差异不显著,与对照之间差异显著(表 1);单播人工、半人工草地的均匀度指数差异不显著,与对照之间差异显著。另外,2003 年混播人工草地的均匀度指数与对照之间差异不显著,而与单播人工、半人工草地的均匀度指数差异显著(表 1)。

人工草地建植后第二年,物种多样性指数都有变化(表 1),其中,单播人工草地中略有增加但差异不显著 ($F_{1,8} = 0.002$, $p > 0.05$);混播人工草地中下降不显著 ($F_{1,8} = 1.070$, $p > 0.05$);单播半人工草地中下降明显,差异显著 ($F_{1,10} = 5.909$, $p < 0.05$)。均匀度指数也有变化,其中,单播人工草地中有所增加,但差异不显著 ($F_{1,8} = 2.092$, $p > 0.05$);混播人工草地中增加明显,差异显著 ($F_{1,8} = 7.232$, $p < 0.05$);单播半人工草地中有所下降,但差异不显著 ($F_{1,10} = 2.687$, $p > 0.05$)。

人工草地建植后 1~2 年,物种丰富度和物种多样性指数的这种变化规律与人工草地建植时的农艺措施有关。翻耕、耙耱等干扰措施使大量双子叶杂草被掩埋后消失,所以与重度退化对照样地相比,下降明显(表 1)。建植后第二年人工草地的盖度和高度有了很大提高,垂穗披碱草占据绝对优势地位,到 2003 年 8 月已经形成了郁蔽结构,具有强大的水、肥、光资源的竞争优势,排斥了一些下层杂类草,所以物种丰富度和物种多样性指数比人工草地建植当年有所下降。各样地中物种数目和多样性指数的变化以及垂穗披碱草的优势度变化共同导致了植物群落均匀度的分异(表 1)。建植后第二年,混播草地的均匀度指数比其它两类人工草地大,这与星星草伴生地位的提高有关。然而,人工草地在建植后 1~2 年植物多样性虽有下降,但仍然有不少杂草存在(表 1),这就为以后人工、半人工草地的快速退化埋下了伏笔,所以为了较长期的利用人工草地,维持其稳定性,在建植初期适当灭杂很有必要。

2.2.2 垂穗披碱草种群特征变化

当高寒草甸到极、重度退化程度时,优良牧草垂穗披碱草已经消失殆尽(表 2)。人工种植垂穗披碱草、星星草等多年生禾草将迅速改变植被状况。2002 年各类人工草地建植后,大多垂穗披碱草当年都没有抽穗,所以只有一层结构,人工草地类型对垂穗披碱草的高度差异影响显著 ($F_{2,15} = 11.953$, $p < 0.01$);2003 年 8 月,绝大多数垂穗披碱草都抽穗,所以明显分为上、下两层(生殖层和营养层),经过方差分析,人工草地类型对三类人工草地的垂穗披碱草的下层高度影响显著 ($F_{2,15} = 11.945$, $p < 0.01$),而对上层高度影响不太显著 ($F_{2,15} = 3.551$, $0.06 > p > 0.05$),高度都在 70.0cm 以上。三类人工草地间垂穗披碱草的显著性差异见表 2,其中以单播人工草地中的垂穗披碱草为最高。2003 年 8 月,三类人工草地中垂穗披碱草的下层高度都明显大于 2002 年 8 月 ($F > F_{0.01}$, $p < 0.01$)。

不同人工草地类型对垂穗披碱草密度的影响显著 ($F_{2,15,2002\text{年}} = 24.208$, $p < 0.01$; $F_{2,15,2003\text{年}} = 7.043$, $p < 0.01$),两年的测定结果表明,以单播人工草地的垂穗披碱草分蘖最多,密度最大,其中 2002 年单播人工草地的垂穗披碱草密度与其它两类人工草地中的密度差异显著,2003 年只与混播人工草地中的垂穗披碱草密度差异显著(表 2)。2003 年垂穗披碱草密度都有所增加(表 2),唯有在单播半人工草地中增加显著 ($F_{1,10} = 35.197$, $p < 0.01$)。

不同人工草地类型对垂穗披碱草分盖度的影响显著 ($F_{2,15,2002\text{年}} = 21.196$, $p < 0.01$; $F_{2,15,2003\text{年}} = 15.171$, $p < 0.01$)。2002 年,单播人工草地的垂穗披碱草盖度最大,与混播人工草地和单播半人工草地中的垂穗披碱草盖度差异显著;2003 年,以单播半人工草地的垂穗披碱草盖度最大,与单播人工草地的垂穗披碱草盖度差异不显著,而与混播人工草地垂穗披碱草盖度差异显著(表 2)。2003 年垂穗披碱草盖度增加明显(表 2),唯有在单播人工草地中增加不显著 ($F_{1,10} = 0.597$, $p > 0.05$)。

不同人工草地类型对垂穗披碱草在植物群落中的重要值影响显著 ($F_{2,14,2002\text{年}} = 4.687$, $p < 0.05$; $F_{2,15,2003\text{年}} = 8.341$, $p < 0.01$)。2002 年,以单播人工草地的垂穗披碱草重要值最大,与混播人工草地和单播半人工草地中的垂穗披碱草重要值差异显著;2003 年,以单播半人工草地的垂穗披碱草重要值最大,与单播人工草地的垂穗披碱草重要值差异不显著,而与混播人工草地垂穗披碱草重要值差异显著

(表 2)。2003 年垂穗披碱草的重要值比 2002 年稍有改变(表 2),但差异都不显著($F < F_{0.05}, p > 0.05$)。2003 年枯草量增多,加上其它一些植物种的优势度有所增加,所以在单播人工草地和混播人工草地中垂穗披碱草的重要值比 2002 年略有下降,而在单播半人工草地中由于 2003 年垂穗披碱草盖度的剧增,重要值有所上升。垂穗披碱草重要值的

这种变化同时也决定了植物群落均匀度的变化(表 1)。两年的研究表明,混播人工草地中垂穗披碱草的重要值一直最低,这可能与草地类型有关,毕竟星星草在其中占据了一席之地。各类人工草地建植当年,垂穗披碱草的重要值就都超过了 70.0(表 2),说明当年垂穗披碱草已经成为了优势种。

表 2 不同样地中垂穗披碱草的种群特征
Table 2 The characteristics of *Elymus nutans* population in different plots

种群特征 Population characteristics	年 Year	单播人工草地 Artificial grassland	混播人工草地 Mixed artificial grassland	半人工草地 Semi-artificial grassland	重度退化对照样地 Control plot (Heavily degraded meadow)
下层高度(cm) Height of bottom layer	2002	9.00 ^a ±2.77	3.25 ^b ±1.13	4.87 ^b ±2.07	/
	2003	23.67 ^a ±4.97	13.83 ^b ±2.79	21.67 ^a ±2.88	/
上层高度(cm) Height of top layer	2002	/	/	/	/
	2003	80.33 ^a ±3.27	70.83 ^b ±4.17	76.83 ^{ab} ±9.43	/
密度(分蘖/25 ×25cm ²) Density(tiller/ 25 ×25cm ²)	2002	156.83 ^a ±47.71	52.17 ^b ±20.11	43.50 ^b ±16.67	/
	2003	180.00 ^a ±64.65	79.67 ^b ±30.67	149.33 ^a ±49.39	/
盖度(%) Coverage	2002	78.33 ^a ±8.45	37.17 ^b ±11.27	35.50 ^b ±17.36	/
	2003	81.67 ^a ±6.35	55.50 ^b ±14.68	84.83 ^a ±7.19	/
重要值 Important value	2002	89.54 ^a ±3.81	74.21 ^b ±6.49	76.23 ^b ±12.89	/
	2003	85.64 ^a ±2.35	71.85 ^b ±12.32	87.94 ^a ±2.47	/

注:表中数据为平均值 ±标准差。各行数据右上角如有相同字母,则差异不显著($p > 0.05$)。
Note: The data at the table are showed by average value ± standard division. Data with the one same letter in one row are not significantly different ($p > 0.05$).

2.2.3 地上生物量

人工草地建植当年垂穗披碱草的地上生物量达 160g/m² 以上,2003 年增长到 480g/m² 以上(表 3),各类人工草地中增加都很显著($F > F_{0.01}, p < 0.01$)。人工草地建植 1~2 年内都以混播人工草地中的垂穗披碱草地上生物量为最低(表 3)。检验表明,人工草地类型对垂穗披碱草的地上生物量没有显著影响($F_{2,15,2002年} = 1.779, p > 0.05$; $F_{2,13,2003年} = 1.631, p > 0.05$)。混播人工草地中星星草的地上生物量在 2002 年 8 月下旬达到 40.48 g/m²,2003 年 8 月下旬增加到 71.52g/m²,但增加不显著($F_{1,5} = 2.281, p > 0.05$),没有形成优势地位,是植物群落中的主要伴生种。人工、半人工草地的其它禾草和莎草类主要包括早熟禾和苔草(*Carex* sp.),在人工草地中有少量这类草,主要是重度退化草地中也有少量禾草和莎草,由于它们属于以根茎等器官行克隆繁殖的多年生植物,人工草地建植时,翻耕、松耙等农艺措施并没有使它们彻底消失。检验表明,不同草地类型对其它禾草和莎草类地上生物量没有显著影响($F_{2,15,2002年} = 0.911, p > 0.05$; $F_{3,18,2003年} =$

1.345, $p > 0.05$)。2003 年,除了单播半人工草地外,剩余草地中的其它禾草和莎草类地上生物量都有所增加(表 3),但变化均不显著($F_{1,5} = 2.281, p > 0.05$)。
重度退化草地上建立人工、半人工草地后,杂草地上生物量下降十分明显($F_{3,19,2002年} = 9.249, p < 0.01$; $F_{3,18,2003年} = 20.302, p < 0.01$),而不同人工草地之间的杂草生物量差异不显著(表 3)。2003 年,除了混播人工草地外,其它人工、半人工草地中的杂草地上生物量都有所下降(表 3),这与 2003 年 8 月植物群落已经形成以垂穗披碱草为绝对优势的郁蔽结构,对下繁杂类草的竞争抑制有关,但各类草地中杂草地上生物量变化都不显著($F < F_{0.05}, p > 0.05$)。人工、半人工草地内由于垂穗披碱草剧增,优良牧草比例增加十分明显($F_{3,19,2002年} = 113.813, p < 0.001$; $F_{3,18,2003年} = 545.308, p < 0.001$),是重度退化草地的 10 倍以上,而不同人工草地之间的优良牧草比例差异不显著(表 3)。2003 年,各类人工、半人工草地中的优良牧草比例都有所上升(表 3),优良牧草垂穗披碱草的优势地位进一步加强,除了单播人工草地($F_{1,5} = 12.337, p < 0.01$)外,混播人

工草地和半人工草地中的优良牧草比例增加都不显著 ($F < F_{0.05}$, $p > 0.05$)。人工、半人工草地的植物群落地上生物量增加十分明显 ($F_{3,19,2002年} = 16.457$, $p < 0.001$; $F_{3,18,2003年} = 13.427$, $p < 0.001$) ,是重度退化草地的 2~5 倍,而不同人工草地之间差异不显著,并以单播人工草地地上生物量相对较高(表 3)。

与 2002 年相比,2003 年各类人工、半人工草地中的地上生物量增加都很显著 ($F > F_{0.05}$, $p < 0.01$) ,这与 2003 年优势植物垂穗披碱草能够顺利完成生长发育有关。2003 年,对照样地的地上生物量有所增加,但不显著 ($F_{1,10} = 1.094$, $p > 0.05$)。

表 3 不同人工草地和对照样地的地上生物量干重(g/ m²)
Table 3 The dry mass of aboveground biomass in different plots

地上生物量 Aboveground biomass	年 Year	单播人工草地 Artificial grassland	混播人工草地 Mixed artificial grassland	半人工草地 Semi-artificial grassland	重度退化对照样地 Control plot (Heavily degraded meadow)
垂穗披碱草	2002	202.56 ^a ±49.76	172.80 ^a ±20.16	206.24 ^a ±22.72	/
<i>Elymus nutans</i>	2003	739.36 ^a ±329.44	501.76 ^a ±125.92	592.80 ^a ±68.64	/
星星草	2002	/	40.48 ±8.64	/	/
<i>Puccinellia tenuiflora</i>	2003	/	71.52 ±50.56	/	/
莎草和其它禾草	2002	/	1.92 ^a ±2.88	5.76 ^a ±8.48	1.92 ^a ±4.48
Sedges and other graminoids	2003	9.96 ^a ±19.36	28.96 ^a ±44.96	0.80 ^a ±1.60	5.76 ^a ±9.92
杂类草	2002	23.36 ^a ±10.40	3.84 ^a ±4.16	23.04 ^a ±17.60	101.60 ±64.80
Forbs	2003	13.76 ^a ±15.20	6.24 ^a ±8.80	18.24 ^a ±15.68	135.68 ^b ±58.56
优良牧草比例(%)	2002	90.99 ^a ±4.04	98.18 ^a ±2.12	92.15 ^a ±4.80	9.20 ^b ±17.77
Palatable herbage percent	2003	98.02 ^a ±2.58	98.94 ^a ±1.62	96.93 ^a ±2.91	4.22 ^b ±8.30
总地上生物量	2002	225.92 ^a ±25.92	219.04 ^a ±21.44	235.04 ^a ±18.72	103.52 ^b ±66.72
Total aboveground biomass	2003	763.08 ^a ±322.40	608.48 ^a ±77.60	611.84 ^a ±64.00	141.44 ^b ±58.40

注:表中数据为平均值 ±标准差。各行数据右上角如有相同字母,则差异不显著($p > 0.05$)。
Note: The data at the table are showed by average value ± standard division. Data with the one same letter in one row are not significantly different ($p > 0.05$).

2.2.4 草场质量指数的变化
人工、半人工草地建立后,草地由以毒杂草为主的植物群落迅速转变为以优良禾草为主的植物群落,草场质量指数增加十分明显 ($F_{3,20,2002年} = 32.960$, $p < 0.001$; $F_{3,19,2003年} = 84.481$, $p < 0.001$) ,是重度退化对照样地的 7~15 倍(表 4)。2002 年,单播人工草地的草地质量指数显著高于混

播人工草地和单播半人工草地;2003 年三类人工草地之间的草地质量指数没有显著差异(表 4)。与 2002 年相比,2003 年各类草地的草地质量指数都有所增加(表 4),其中混播人工草地和单播半人工草地增加显著 ($F > F_{0.05}$, $p < 0.01$) ,单播人工草地和重度退化对照样地增加不明显 ($F < F_{0.05}$, $p > 0.01$)。

表 4 不同人工草地和对照样地的草场质量指数
Table 4 The index of grassland quality in different artificial grasslands and control plot

年 Year	单播人工草地 Artificial grassland	混播人工草地 Mixed artificial grassland	半人工草地 Semi-artificial grassland	重度退化对照样地 Control plot (Heavily degraded meadow)
2002	2.39 ^a ±0.24	1.52 ^b ±0.46	1.27 ^b ±0.57	0.17 ^c ±0.12
2003	2.63 ^a ±0.18	2.38 ^a ±0.48	2.69 ^a ±0.22	0.21 ^b ±0.12

注:表中数据为平均值 ±标准差。各行数据右上角如有相同字母,则差异不显著($p > 0.05$)。
Note: The data at the table are showed by average value ± standard division. Data with the one same letter in one row are not significantly different ($p > 0.05$).

2.2.5 土壤特征变化

人工、半人工草地建立后,土壤容重和湿度都有所增加,其中混播人工草地相对较高(表 5)。土壤容重和湿度的大小与植被状况密切相关,人工草地建成后植被茂密,覆盖度大,影响了土壤水分的蒸散,所以土壤湿度有所增加。另外,建植人工草地后鼠害被抑制,土壤变得相对紧实,则容重有所增大。从表 5 可以看出,人工草地的有机质、速效钾、全氮

和全磷含量比重度退化对照样地有所降低,这可能与人工草地建植时的农艺措施有关。人工草地中速效氮的含量明显高于重度退化草地,这可能与人工草地建植初期的施肥措施有关。混播人工草地中的速效磷含量高于对照样地,而单播人工草地和单播半人工草地中比对照略低。全盐 and 全钾含量则没有明显变化规律。

表 5 不同人工草地和对照样地的土壤特性

Table 5 The soil properties (0 ~ 20cm) of different artificial grasslands and control plots				
土壤特性 Soil properties	单播人工草地 Artificial grassland	混播人工草地 Mixed artificial grassland	半人工草地 Semi-artificial grassland	重度退化对照样地 Control plot (heavily degraded meadow)
容重(g/cm ³) Soil bulk density	0.72 ±0.02	0.75 ±0.02	0.70 ±0.15	0.66 ±0.12
湿度(%) Moisture	16.63 ±4.48	18.63 ±3.71	13.83 ±3.91	10.56 ±2.25
有机质(%) Organic matter	4.25	4.26	5.14	6.38
速效氮(mg·kg ⁻¹) Available nitrogen	0.045	0.056	0.043	0.015
全氮(%) Total nitrogen	0.22	0.21	0.27	0.34
速效磷(mg·kg ⁻¹) Available phosphor	0.010	0.014	0.009	0.010
全磷(%) Total phosphor	0.043	0.048	0.047	0.051
速效钾(mg·kg ⁻¹) Available kalium	0.145	0.123	0.140	0.148
全钾(%) Total kalium	1.8	1.99	2.00	1.84
全盐(%) Total salt	0.047	0.10	0.058	0.068

2.3 人工草地的退化演替分析

高寒牧区多年生人工草地普遍存在建植 3 ~ 5 年后急速退化的现象,这也是人工草地建植后毒杂草快速入侵的过程^[3]。人工草地的建植是对原有自然植被的一个人为扰动,而建植后草地中的杂草入侵实质上是人工草地向自然植被类型恢复演替过程中的先锋种入侵^[2],结果导致人工种植的禾草种群迅速衰退,草场质量急剧下降。所以,针对高寒牧区人工草地的退化演替问题,探讨人工植物群落向具有生态稳定性的自然植被恢复演替的规律,迫切而又十分必要。

通常人们研究植物群落演替动态所采用的方法都是由空间序列来推断时间序列^[15],这样便存在一定的误差。因为不同地段的土壤、地形等背景因素不可能绝对一致,特别是初始植物的组成对决定先锋群落作用重大。所以,本研究选择了 2000 年和 2002 年建植的两块单播垂穗披碱草草地,都在本试验点的同一滩地上,海拔、土壤条件完全一致,附近

植物组成也十分相似。在人工草地南侧,选取一块植被相对完好的天然矮嵩草草甸作为对照。为了有相对足够的信息量,2002 年和 2003 年 8 月下旬,对这两块人工草地进行了重复观测,这样就有了 1 ~ 4 龄的人工草地资料和一个对照样地资料,用于分析垂穗披碱草人工草地的初始演替变化规律。

2.3.1 垂穗披碱草种群的衰退

1 龄人工草地中的垂穗披碱草由于在生长季节末期未完成生育期,所以一些种群特征如高度、盖度、密度和地上生物量都小于 2 龄人工草地(表 6)。从 2 龄人工草地,到 4 龄人工草地,再到天然草地,垂穗披碱草种群特征逐步下降(表 6)。人工草地建植以后,垂穗披碱草的重要值就开始下降(表 6),若干年后,如果人工草地能够演替到天然草地,则垂穗披碱草的重要值将变得很低。上述表明,随着人工草地演替年龄的增加,垂穗披碱草种群逐步衰退,优势度逐步下降。

表 6 1~4 龄人工草地和天然草地的垂穗披碱草种群衰退

Table 6 The decline of *Elymus nutans* population from 1 year old to 4 year old artificial grasslands and natural meadow

种群特征 Population characteristics	1 龄 One year old	2 龄 Two year old	3 龄 Three year old	4 龄 Four year old	天然草地 Natural degraded meadow
高度 (cm) Height	9.00 ^a ±2.77	80.33 ^b ±3.27	52.67 ^c ±2.25	28.00 ^d ±14.30	4.87 ^a ±1.23
盖度 (%) Coverage	78.33 ^a ±8.45	81.67 ^a ±6.35	54.17 ^b ±15.94	52.00 ^b ±10.20	1.78 ^c ±0.61
密度 (分蘖/ 25 ×25cm ²) Density (tiller/ 25 ×25cm ²)	156.83 ^a ±47.71	200.00 ^a ±47.17	193.80 ^a ±73.79	92.50 ^b ±17.00	13.67 ^c ±2.16
重要值 Important value	89.54 ^a ±3.81	85.64 ^a ±2.35	64.53 ^b ±10.33	57.91 ^b ±5.33	1.44 ^c ±1.07
地上生物量 (g/ 25 ×25cm ²) Aboveground biomass	12.66 ^a ±3.11	46.12 ^b ±20.59	14.01 ^a ±1.97	6.58 ^{ac} ±0.59	0.21 ^c ±0.34

注:表中数据为平均值 ±标准差。各行数据右上角如有相同字母,则差异不显著(p > 0.05)。

Note: The data at the table are showed by average value ± standard division. Data with the one same letter in one row are not significantly different (p > 0.05).

2.3.2 物种多样性的变化

作为一个次生植物群落变化的前期,生物间的竞争非常激烈^[2],加上初期翻耕措施对土壤结构的影响逐渐消失,土壤结构发生演替后不利于高产的栽培牧草生长^[16]等原因,使早期人工草地植物群落的物种多样性发生了明显变化。

1~4 龄人工草地中植物种总数是逐渐下降的,都明显低于天然草地植物种数(表 7)。物种丰富度的变化规律是天然草地 > 3 龄人工草地 > 1 龄人工草地 > 2 龄人工草地 > 4 龄人工草地, F 检验差异达到极显著水平 ($F_{4,25} = 46.559, p < 0.001$)。这种变化规律与垂穗披碱草种群密切相关,由于它高于其它植物,播种后第二年抽穗期到乳熟期的平均高度超过 80cm,在群落中是光资源竞争优胜者,所以在人工草地演替前期往往排除杂草幼苗,使 2 龄人工草地的物种丰富度低于 1 龄人工草地。之后,随着垂穗披碱草种群的衰退(表 6),部分杂草开始入侵,到 3 龄人工草地,物种丰富度有所提高,而到 4 龄人工草地,可能由于土壤坚实度变大、土壤肥力下降等原因,物种丰富度又有所下降。F 检验表明,人工草地演替年龄对物种多样性指数和均匀度指数的影响都达到极显著水平 ($F_{3,16}$,多样性指数 = 31.576, $p < 0.001$; $F_{3,17}$,均匀度指数 =

9.449, $p < 0.01$)。物种多样性指数和均匀度指数随着人工草地演替年龄的增加而增加,有逐步逼近天然草地的趋势。其中,天然草地的这两个指数显著高于人工草地,而 3 龄、4 龄人工草地又明显高于 1 龄、2 龄人工草地(表 7)。1~4 龄人工草地的物种多样性指数和均匀度指数的这种变化趋势与垂穗披碱草种群的衰退(表 6)密切相关,并与杂类草的入侵及其优势度的逐步增加是一一对应的。

2.3.3 草地质量指数和杂类草地上生物量的变化

1~4 龄人工草地的草地质量指数先增大后减小,以 2 龄人工草地为最大,之后草地质量指数随着人工草地演替年龄的增加有逐渐降低的趋势。天然草地的草地质量指数和 1 龄人工草地接近,属于利用价值较高的草地类型,与 1~4 龄人工草地的草地质量指数没有显著差异(图 4)。由于人工草地中禾草比例较高,天然草地中禾草、莎草比例也较高,所以 IGQ 都超过了 2.00,有较高的放牧利用价值。2 龄人工草地与 3 龄、4 龄人工草地间的草地质量指数差异显著,与 1 龄人工草地和天然草地间的草地质量指数差异不显著(图 4)。F 检验表明,1~4 龄人工草地和天然草地对草地质量指数的影响不显著 ($F_{4,25} = 2.537, p > 0.05$)。

表 7 1~4 龄人工草地和天然草地的物种多样性

Table 7 The species diversity of 1 year old to 4 year old artificial grasslands and natural meadow

指数 Index	1 龄 One year old	2 龄 Two year old	3 龄 Three year old	4 龄 Four year old	天然草地 Natural degraded meadow
物种总数 Species number	18	15	14	10	36
物种丰富度 Species richness	7.00 ^a ±1.55	5.67 ^{ab} ±1.97	7.50 ^a ±3.02	3.83 ^b ±1.72	18.50 ^c ±1.76
物种多样性 Species diversity	0.54 ^a ±0.13	0.55 ^a ±0.10	0.95 ^b ±0.08	0.96 ^b ±0.07	2.11 ^c ±0.11
均匀度 Evenness	0.28 ^a ±0.03	0.33 ^a ±0.06	0.54 ^b ±0.12	0.69 ^c ±0.24	0.72 ^c ±0.04

注:表中数据为平均值 ±标准差;各行数据右上角如有相同字母,则差异不显著(p > 0.05)。
Note: The data at the table are showed by average value ± standard division. Data with the one same letter in one row are not significantly different (p > 0.05).

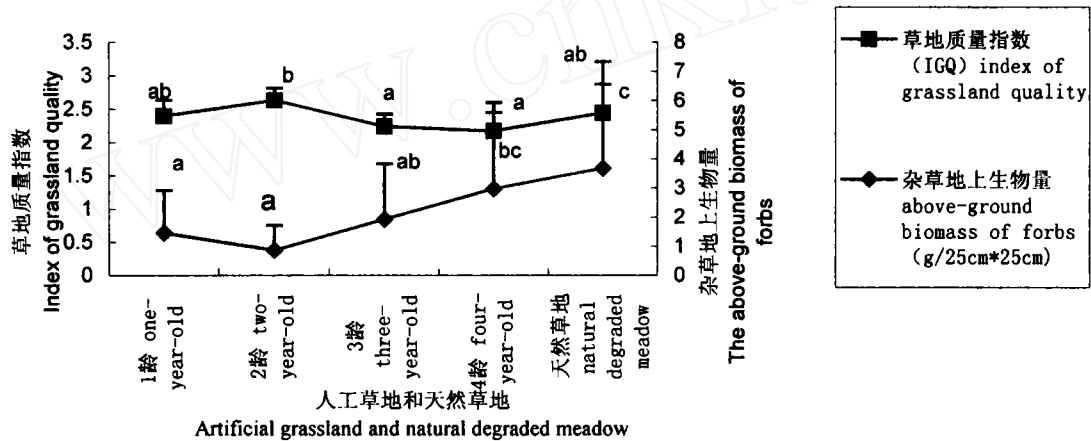


图 4 草地质量指数和杂类草地上生物量的变化

Fig. 4 The variation of index of grassland quality and aboveground biomass of forbs

1~4 龄人工草地的杂类草地上生物量先减小后增大,其中以 2 龄人工草地为最小(图 4),之后杂类草地上生物量随着人工草地演替年龄的增加有逐渐增加的趋势。F 检验表明,1~4 龄人工草地和天然草地对杂类草地上生物量的影响十分显著 ($F_{4,23} = 8.489, p < 0.001$),其中天然草地中的杂类草地上生物量显著高于 1~3 龄人工草地,4 龄人工草地的杂类草地上生物量显著高于 1~2 龄人工草地,其它草地间差异不显著(图 4)。草地质量指数的下降和杂类草地上生物量的增加趋势都表明了人工草地在利用 2~3 年后快速退化演替的趋势。

2.3.4 土壤特征变化

人工草地植被的退化演替过程中也伴随着土壤特征的一些重要变化。3 龄人工草地的土壤容重大于 1 龄人工草地(表 8),说明人工草地建植初期土壤容重有增大的趋势。天然草地的土壤容重较小(表 8),主要与表层土壤的致密根系较多有关。土

壤湿度以天然草地最大,而后为 4 龄人工草地和 2 龄人工草地(表 8),说明随着人工草地演替年龄的增大,土壤湿度同样有增大的趋势。

天然草地的土壤有机质、速效氮、全氮、速效钾、全磷和全盐含量都大于 2 龄、4 龄人工草地(表 8)。人工草地的土壤有机质和速效氮含量比天然草地低可能与垂穗披碱草对土壤养分的大量摄取有关。氮素是限制植物生长的主要因子^[17],如果其含量低于一定的阈值,则不利于垂穗披碱草的生长发育,而能够忍受低水平土壤养分的其它杂草随之入侵,人工草地的退化就不可避免。4 龄人工草地的速效磷含量高于天然草地(表 8),这与王刚、蒋文兰^[2]在甘南州垂穗披碱草人工草地上的结果有所不同,可能与不同地域土壤养分的基值不同有关。

总体上来看,随着人工草地年龄的增加,土壤显得越来越贫瘠化,尤其是速效氮的缺乏限制了垂穗披碱草的生长,影响了人工草地的质量。

表 8 1~4 龄人工草地和天然草地的土壤特征

Table 8 The soil properties (0~20cm) of 1 year old to 4 year old artificial grasslands and natural meadow

土壤特性 Soil properties	1 龄 One year old	2 龄 Two year old	3 龄 Three year old	4 龄 Four year old	天然草地 Natural degraded meadow
容重(g/cm ³) Soil bulk density	0.72 ±0.02	/	0.83 ±0.02	/	0.65 ±0.11
湿度(%) Moisture	/	16.63 ±4.48	/	18.5 ±3.36	28.75 ±8.27
有机质(%) Organic matter	/	4.25	/	6.46	8.44
速效氮(mg·kg ⁻¹) Available nitrogen	/	0.045	/	0.040	0.060
全氮(%) Total nitrogen	/	0.22	/	0.33	0.41
速效磷(mg·kg ⁻¹) Available phosphor	/	0.010	/	0.012	0.011
全磷(%) Total phosphor	/	0.043	/	0.061	0.071
速效钾(mg·kg ⁻¹) Available kalium	/	0.145	/	0.162	0.201
全钾(%) Total kalium	/	1.8	/	2.2	1.86
全盐(%) Total salt	/	0.047	/	0.079	0.107

3 讨论

人工草地是通过农作措施建立并运用各种管理控制措施维持的人工植物群落,要持续地获得优良牧草的高额产量,同时使人工草地中各种牧草保持适宜而恒定的组成比例,使草地处于一种相对稳定的状态即实现某种意义上的稳定性,为“生产稳定性”;而由天然草地的顶级或偏顶级状态所决定的草地生态系统的稳态一般称之为“生态稳定性”^[2]。许多实践和研究证明,遏止人工草地向生态稳定性回复的趋势,保持生产稳定性,是实现人工草地高产和持续利用所应遵循的生态学原则^[4]。人工草地建成后如何稳定与持续利用,特别是劣质牧草入侵导致草地退化的问题,值得进一步研究^[18, 19]。

在江河源区建成的垂穗披碱草人工草地,地上生物量和高度的增长趋势符合“慢-快-慢”的“S”型规律,植被盖度的增长趋势符合“快-慢-慢”的规律。建植后第二年,物种多样性指数、生物量、优势种群特征、草场质量和土壤特征因不同草地类型而有所不同。2002 年和 2003 年 8 月对已建成人工草地进行的调查研究表明:(1)随着人工草地演替年龄的增加,垂穗披碱草种群逐步衰退,优势度逐步下降。(2)物种多样性指数和均匀度指数随着人工草地演替年龄的增加而增加,有逐步逼近天然草地的趋势。(3)入侵杂草中大多为多年生毒杂草植物,其多少与人工草地建植前的重度退化草甸的杂草本底状况和灭除情况相关性强。(4)人工草地 2 龄之后草地质量指数随着人工草地演替年龄的增加有逐渐

降低的趋势,而杂类草地上生物量随着人工草地演替年龄的增加有逐渐增加的趋势。(5)随着人工草地年龄的增加,土壤显得越来越贫瘠化,尤其是速效氮的缺乏限制了垂穗披碱草的生长,影响了人工草地的质量。

可以看出,人工草地在建成后 4 年内植物群落由生产稳定性急剧向生态稳定性转化,呈现出明显的退化态势,退化原因与毒杂草侵入和有效养分逐步匮乏有关。入侵杂类草大多以无性繁殖为主,在人工草地中适合度高,很容易大量繁殖,如 3 龄、4 龄人工草地中鹅绒委陵菜重要值的迅速增加。另外,鼠害等随之而生并日趋严重,促使草地质量下降,利用价值变小,所以,人工草地建成以后的后期管理如灭杂、灭鼠、施肥和禁止放牧等尤为重要。

人工草地的建立改变了整个草地生态系统中的各种生物和非生物因子的状况,改变了生态系统的能量和物质流通模式,所以,适当增施肥料、灭除杂草是直接而有效的人工草地维护方法。张耀生等^[3]在青海省海北地区人工草地中的施肥试验表明,施氮磷肥可有效补充土壤对植物的养分供给,促进牧草植株个体发育,获得较高的种子产量与生物产量。对老芒麦人工草地的灭杂草试验^[3]表明,2,4-D 丁酯对双子叶杂草的灭杀效果比较好,延迟了人工草地因为杂草入侵导致的快速退化,这些管理措施都有利于维持人工草地的多年持续利用。

人工草地退化演替的方向是趋同于未退化天然草地的群落结构。发生群落结构退化演替的原因在于它本身为非稳定性结构,植物种类成分少,均匀度低,丰富度和多样性指数也不高。而人工草地持续

利用的关键就是通过农艺管理措施维持栽培牧草优势地位的这种“暂稳态”,保证生产稳定性与生态稳定性之间的平衡。所以,要防止人工草地的退化演替,做到高效持续利用,就应该采用综合农艺措施,从植物群落、动物群落和人工草地生态系统三个层次上维持其生产稳定性。

本研究中人工草地群落结构特性的监测只持续了两年,土壤特性的观测只进行了一年,时间相对较短,人工草地的群落结构和初级生产力尚未完全趋于稳定。为了更有效的说明江河源区人工草地建植后的退化过程和机制,揭示退化原因,促进人工草地的持续利用,需要继续监测和研究。

参考文献(References):

- [1] 胡自治. 人工草地在我国 21 世纪草业发展和环境治理中的重要意义[J]. 草原和草坪, 2000, (1): 12-15.
Hu Zizhi. The importance of artificial grassland in the development of prataculture and the control of environment in China of 21 century[J]. *Grassland and Turf*, 2000, (1): 12-15.
- [2] 王刚, 蒋文兰. 人工草地种群生态学研究[M]. 兰州: 甘肃科学技术出版社, 1998.
Wang Gang, Jiang Wenlan. Population ecology of artificial grassland[M]. Lanzhou: *Gansu Science and Technology Press*, 1998.
- [3] 张耀生, 赵新全, 黄德清. 青藏高寒牧区多年生人工草地持续利用的研究[J]. 草业学报, 2003, 12(3): 22-27.
Zhang Yaosheng, Zhao Xinquan, Huang Deqing. The study on sustainable using of perennial sowing grassland in the Qinghai - Tibet Plateau pasture [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003, 12(3): 22-27.
- [4] 董世魁, 胡自治, 龙瑞军, 康慕谊, 江源. 高寒地区多年生禾草混播草地的群落学特征研究[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5): 20-25.
Dong Shikui, Hu Zizhi, Long Ruijun, Kang Muiyi, Jiang Yuan. Community characteristics of mixed grassland with perennial grasses in alpine region of Tibetan Plateau[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(5): 20-25.
- [5] Zhou Huakun, Zhao Xinquan, Tang Yanhong, Zhou Li. Alpine grassland degradation and its control in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers, China[J]. *Grassland Science*, 2005, 51: 191-203.
- [6] 马玉寿, 郎百宁, 王启基. “黑土型”退化草地研究工作的回顾与展望[J]. 草业科学, 1999, 16(2): 61-63.
Ma Yushou, Lang Baining, Wang Qiji. Review and prospect of the study on “black soil type” degraded grassland [J]. *Pratacultural Science*, 1999, 16(2): 61-63.
- [7] 王根绪, 程国栋. 江河源区的草地资源特征与草地生态变化[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 101-107.
Wang Genxu, Cheng Guodong. The characteristics and the ecological variation of grassland resource in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers, China[J]. *Journal of Desert Research*, 2001, 21(2): 101-107.
- [8] 周华坤, 周立, 赵新全, 刘伟, 严作良, 师燕. 江河源区“黑土滩”型退化草场的形成过程与综合治理[J]. 生态学杂志, 2003, 22(5): 51-55.
Zhou Huakun, Zhou Li, Zhao Xinquan, Liu Wei, Yan Zuoliang, Shi Yan. The degraded process and integrated treatment of “black soil beach” type degraded grassland in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(5): 51-55.
- [9] 赵新全, 周华坤. 三江源区生态环境退化、恢复治理及其可持续发展[J]. 中国科学院院刊, 2005, 20(6): 471-476.
Zhao Xinquan, Zhou Huakun. Eco-environmental degradation, vegetation regeneration and sustainable development in the headwaters of three rivers on Tibetan Plateau [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2005, 20(6): 471-476.
- [10] 李绍良, 贾树海, 陈有君, 康师安, 关世英, 何婕平. 内蒙古草原土壤退化进程及其评价指标的研究[J]. 土壤通报, 1997, 28(6): 241-243.
Li Shaoliang, Jia Shuhai, Chen Youjun, Kang Shian, Guan Shiyong, He Jieping. The study of the soil degraded process and their evaluating index of the Inner Mongolia grassland [J]. *Chinese Soil bulletin*, 1997, 28(6): 241-243.
- [11] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
The Chinese Soil Society. The analyzing method of soil agricultural chemistry[M]. Beijing: *Chinese Agricultural Science Press*, 1999.
- [12] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 1-29.
Ren Jizhou. Studying methods of pratacultural science [M]. Beijing: *Agriculture Press of China*, 1998. 1-29.
- [13] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J]. 生态学报, 1995, 15: 268-277.
Ma Keping, Huang Jianhui, Yu Shunli, Chen Lingzhi. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China: II Species richness, evenness and species diversities[J]. *Acta Ecoogical Sinica*, 1995, 15: 268-277.
- [14] 张大勇, 王刚, 杜国祯. 甘南山地草原人工草场的演替[J]. 植物生态学与地植物学学报, 1990, 14(2): 103-109.
Zhang Dayong, Wang Gang, Du Guozheng. Succession of the artificial grasslands in the mountain grassland area of Gannan district, Gansu[J]. *Acta Phytoecol. Geobot. Sin*, 1990, 14(2): 103-109.
- [15] Barbour M, G Burk, J H Pitts. Terrestrial plant ecology [M]. London: *The Benjamin Publishing Company*, 1980. 222-233.
- [16] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. 36-38, 242-261.
Huang Changyong. Agrology [M]. Beijing: *Agriculture Press of China*, 2000. 36-38, 242-261.

- [17] Filtter A H. Acquisition and utilization of resources[A].
Crawley M J. Plant ecology[C]. Blackwell, 1986.
- [18] 陈佐忠. 草原生态系统 20 年定位研究进展与展望[J]. 中国草地, 1999 ,21(3) :1-10 ,27.
Chen Zuozhong. The advance and prospect of the grassland ecosystem in the past 20 years[J]. Grassland of China , 1999 ,
- 21(3) :1-10 ,27.
- [19] 孙海群. 混播人工草地退化演替的研究[J]. 中国草地, 2000 ,22(2) :8-14.
Sun Haiqun. Studies on the degradation succession of mixed artificial grassland [J]. Grassland of China , 2000 ,22(2) :8-14.

The Community Characteristics and Stability of the *Elymus nutans* Artificial Grassland in Alpine Meadow

ZHOU Hua-kun , ZHAO Xin-quan , ZHAO Liang , HAN Fa , GU Song

(Northwest Plateau Institute of Biology , the Chinese Academy of Sciences , Xining 810001 , China)

Abstract : The restoring effects , growing dynamics , plant community characteristics , environmental factors and succession were analyzed , respectively , after the construction of *Elymus nutans* artificial grassland in the source region of Yangtze and Yellow rivers. The results were as follows. The increasing trends of the aboveground biomass and the height of the *E. nutans* artificial and semi-artificial grassland showed S type (slow - fast - slow) while that of the vegetation community has the pattern of “fast-slow-slow”. The species diversity index , biomass , dominant population , grassland quality and soil features depended on the types of grassland. The artificial grassland degraded from “productivity stability” to “ecological stability” quickly during the 4 years since they were constructed. The degradation was correlated with invasion of poisonous forbs and deficiency of soil available nutrients. The means of management after the construction of artificial grassland , such as weed control , mice control , fertilizing and grazing release , was very important to holdback the degenerative succession , to increase the utilized efficiency , to maintain the balance of the *E. nutans* artificial grassland between the “productivity stability” and “ecological stability”.

Key words : Alpine meadow ; *Elymus nutans* ; Artificial grassland communities ; Community

【责任编辑 胡卉芳】