

# 江河源区人工草地群落特征、多样性及其稳定性分析

史惠兰<sup>1,2</sup>, 王启基<sup>1\*</sup>, 景增春<sup>1</sup>, 王长庭<sup>1,2</sup>, 王杰<sup>3</sup>, 王柳英<sup>4</sup>

(1. 中国科学院西北高原生物研究所, 青海 西宁 810001; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 青海畜牧兽医职业技术学院, 青海 湟源 812100; 4. 青海省畜牧兽医科学院, 青海 西宁 810008)

**摘要:**对江河源区人工草地群落特征、多样性及其稳定性的研究表明,不同处理草地植物群落的物种丰富度、多样性、均匀度指数因时间和空间的变化而有明显的差异,群落演替从5龄到6龄,各群落丰富度和多样性指数增加,生物生产量降低,群落相似性系数增大。5龄老芒麦+早熟禾混播人工草地(LP5)群落的地上生物量最高(379.6 g/m<sup>2</sup>),老芒麦单播(ES5)居中(323.4 g/m<sup>2</sup>),对照组(CKF5和CK5)最低(124.3和118.6 g/m<sup>2</sup>)。6龄植物群落地上生物量依次为原生植被+封育(VP6, 310.1 g/m<sup>2</sup>)>老芒麦+早熟禾混播(LP6, 216.3 g/m<sup>2</sup>)>老芒麦单播(ES6, 190.8 g/m<sup>2</sup>)>对照(CK6, 88.7 g/m<sup>2</sup>)。群落间相似性系数的变化说明,单播(ES)与混播(LP)人工草地群落有趋同演化的趋势。人工草地群落随着结构的复杂化,与对照群落间的相似性提高,说明群落处于退化演替阶段,物种丰富度和多样性增大,群落稳定性提高。

**关键词:**江河源区;人工草地;群落特征;多样性;相似性系数;稳定性

**中图分类号:**Q948.158 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2005)03-0023-08

\* 高寒草甸是江河源区主要植被类型,对江河源区生态安全、涵养水源、防止水土流失和土地沙化具有重要作用和意义。但是,由于过度放牧、鼠虫危害、采挖中草药、采金、伐薪等原因,使天然草地植被严重破坏,江河源区生态系统平衡受到损伤,环境日趋恶化,水土流失和土地沙化加剧,大面积次生裸地——“黑土滩”形成。“黑土滩”植被稀疏,盖度一般在30%以下,植物群落组成以毒杂草为主,基本上失去放牧价值和生态功能<sup>[1]</sup>。由于高寒严酷自然条件制约,仅靠自然恢复植被难度大,所需时间长,只有辅助人工措施才能快速恢复或重建人工群落植被。

建植人工草地是畜牧业发达国家的成功经验<sup>[2,3]</sup>,也是恢复与重建江河源区严重退化“黑土滩”草地的重要手段之一。在江河源区,采用疏根茎高禾草老芒麦(*Elymus sibiricus*)、垂穗披碱草(*E. nutans*)和短根茎密丛禾草冷地早熟禾(*Poa crymophila*)、中华羊茅(*Festuca sinensis*)等多年生牧草建植人工草地,取得了较好的经济效益和生态效益。但是,采用多年生禾本科牧草建植的人工草地,利用3~5年后因管理和利用不当、毒杂草侵入以及土壤有效养分不足等因素而出现退化现象<sup>[4]</sup>,为人工草地的持续利用提出挑战。有关人工草地群落稳定性调控研究,在近30年得到了较大发展。但是品种组合调控人工草地群落稳定性研究的报道较少<sup>[5]</sup>。本试验旨在通过人工植物群落结构特征、生物多样性和生物量动态研究,探讨不同处理和生育年龄人工草地演替规律及生态过程,为江河源区多年生人工草地的持续利用和群落稳定性研究提供科学依据。

## 1 研究地区自然地理概况

本试验于2002-2003年在江河源区青海省果洛州达日县进行,地处北纬32°36'42"~34°15'20",东经98°15'29"~100°32'41"。地势西北高而东南低。海拔均在4000m以上。全县以巴颜喀拉山为分水岭,形成长江、黄河两大水系。气候属高寒半湿润类型,一年中暖季短暂(5-9月),冷季漫长(10月-翌年4月)。年平均气温-1.3,7月平均气温9.1,1月平均气温-12.9。县境内0℃的积温为751.9~1070.7。多年平均降水量486.9~666.5mm,多集中在5-9月,期间降水量占年降水量的85%。年蒸发量为1119.07mm。年总辐

\* 收稿日期:2004-03-16

基金项目:“十五”国家科技攻关计划重大项目(2001BA606A-02)和中国科学院资源与生态环境研究重点项目资助。

作者简介:史惠兰(1977-),女,青海西宁人,硕士生。E-mail:hlshi@mails.gscas.ac.cn

\* 通讯作者。E-mail:wqj@mail.nwipb.ac.cn

射量 623.8 ~ 629.9 kJ/cm<sup>2</sup>。境内多大风和雪灾,历年大风最多的年份有 153 d,最少年为 47 d。草地类型较单一,主要为高寒嵩草草甸、高寒灌丛草甸、沼泽草甸草地类。可利用草地面积 111.724 万 hm<sup>2</sup>,其中,严重退化草地(黑土滩)面积已达 17.69 万 hm<sup>2</sup>,占全县可利用草地面积的 15.83%。土壤类型有高山草甸土、高山灌丛草甸土和高山寒漠土等。

## 2 研究内容和方法

### 2.1 试验设计

该研究于 2002 - 2003 年在果洛州达日县窝赛乡示范试验区进行,示范区建于 1998 年。试验处理有:老芒麦 + 冷地早熟禾混播(LP)、老芒麦单播(ES)、原生植被 + 封育(PV)、对照 + 封育(CKF)、对照不封育(CK)5 个处理(表 1)。

表 1 试验设计  
Table 1 Experimental design

| 处理<br>Treatment  | 5 龄<br>5 years | 6 龄<br>6 years |
|--|----------------|----------------|
| 老芒麦 + 冷地早熟禾混播(LP) <i>E. sibiricus</i> + <i>P. crymophila</i> | LP5            | LP6            |
| 老芒麦单播(ES) <i>E. sibiricus</i>                                | ES5            | ES6            |
| 原生植被 + 封育 Primary vegetation + fertilizing                   | —              | PV6            |
| 对照 + 封育(CKF) Control + fertilizing                           | CKF5           | —              |
| 对照不封育(CK) Control + not fertilizing                          | CK5            | CK6            |

PV6:封育 6 年的原生植被 Fertilizing for primary vegetation 6 years;CKF5:封育 5 年的对照群落 Fertilizing for control community 5 years;CK6:6 年未封育的对照群落 Control community 6 years.

### 2.2 研究内容和方法

2.2.1 群落结构调查 分别于 2002 和 2003 年牧草生长旺盛期(7 - 8 月)用固定样条法测定不同处理区植物群落种类组成及特征值(分盖度、株高和频度)。将 50 cm × 500 cm 的样条分为 50 cm × 50 cm 的 10 个子样方,按顺序记录其总盖度、物种及分盖度、株高、频度,2 次重复,共计 20 个子样方。

2.2.2 地上生物量 每年在植物群落生物量高峰期(8 月底 - 9 月初),用收割法测定植物地上生物量。每个样地随机选取 5 个面积为 50 cm × 50 cm 的样方。将样方内植物按主要经济类群(禾草类、杂类草、莎草类)分开,在 80 °C 恒温箱内烘 24 h 至恒重,称重,文中生物量以烘干重计。

2.2.3 地下生物量 与地上生物量测定同步进行,在测定地上生物量的样方内挖取面积为 25 cm × 25 cm,深 30 cm 的土柱,采样时每 10 cm 分为一层,先拣去土样中的石头,并用 2 mm 筛子筛去细土,然后将草根用纱布包好,在水中清洗干净,在 80 °C 的恒温箱内烘 24 h 至恒重,称取烘干重,3 次重复。

### 2.2.4 数据分析

$$\text{Shannon - Wiener 多样性指数 } H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

$$\text{Pielou 均匀度指数 } E = H / \ln S$$

$$\text{物种重要值 } IV = (RC + RF + RH) \times 100 / 3$$

$$\text{物种丰富度指数 } S = \text{物种数}$$

$$\text{群落 S rensen 相似性系数 } IS_s = 2c / (a + b) \times 100$$

式中, $P_i$  为第  $i$  个种在群落中的相对重要值; $RC$  为相对盖度; $RF$  为相对频率; $RH$  为相对高度; $a$  为群落 A 的种数; $b$  为群落 B 的种数; $c$  为群落 A 和 B 共有的种数。

## 3 结果与分析

### 3.1 不同处理区植物群落特征

草原植物群落的结构外貌通常以优势种和种类组成为特征,优势种的更替是草原演替阶段的标识<sup>[6]</sup>。江河

源区退化草地恢复与重建的过程中,根据草地退化演替阶段的不同,采用多年生牧草混播、单播、封育等治理措施后,经过几年演替,植物群落结构特征发生明显变化(表 2)。

表 2 不同处理区物种丰富度、多样性、均匀度指数

Table 2 The richness index (S), diversity index (H) and evenness index (E) of plant communities in different treatments

| 项目<br>Item | 5 龄 5 years |       |       |       | 6 龄 6 years |       |       |       |
|------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
|            | LP5         | ES5   | CKF5  | CK5   | LP6         | ES6   | PV6   | CK6   |
| 物种种数 S     | 10          | 9     | 24    | 21    | 26          | 22    | 35    | 21    |
| 多样性指数 H    | 1.621       | 1.510 | 2.768 | 2.701 | 2.426       | 2.374 | 3.261 | 2.758 |
| 均匀度指数 E    | 0.704       | 0.687 | 0.871 | 0.887 | 0.745       | 0.757 | 0.917 | 0.829 |

由表 2 可知,5 年生老芒麦 + 冷地早熟禾混播群落由 10 种植物组成,隶属 6 科 10 属。优势种植物为老芒麦,优势度为 42.20%,次优势种为冷地早熟禾,优势度为 29.33%,其余 5 科 8 属 8 种植物主要由甘肃马先蒿 (*Pedicularis kansuensis*)、直立梗唐松草 (*Thalictrum alpinum* var. *elatum*)、细叶亚菊 (*Ajania tenuifolia*) 等组成,优势度为 28.47%;5 年生老芒麦单播群落由 9 种植物组成,隶属 7 科 9 属。优势种植物为老芒麦,其优势度为 55.66%,次优势种有藏忍冬 (*Lonicera tibetica*)、白苞筋骨草 (*Ajuga lupulina*)、甘肃马先蒿,其优势度依次为 10.54%, 9.85% 和 9.41%,其余 3 科 4 属 5 种植物的优势度仅占 19.54%;对照区通过 5 年的封育,植物群落由 24 种植物组成,隶属 14 科 24 属。优势种为藏忍冬、蜜花香薷 (*Ersholtzia densa*),优势度分别为 17.45% 和 15.55%,次优势种有早熟禾 (*P. annua*)、白苞筋骨草、灰绿藜 (*Chenopodium glaucum*),优势度分别为 7.78%, 7.25% 和 7.13%。伴生种有垂穗披碱草、黄帚 吾 (*Ligularia virgaurea*)、圆萼刺参 (*Morina chinensis*) 等,优势度分别为 6.03%, 4.41% 和 4.01%,其余 7 科 16 属 16 种植物的优势度为 30.39%;对照区(不封育)由 21 种植物组成,隶属 12 科 21 属。优势种为播娘蒿 (*Descurainia sophia*)、高山葶苈 (*Draba alpina*),优势度为 17.44% 和 13.93%,次优势种有海乳草 (*Glaux maritima*)、白苞筋骨草、早熟禾,优势度分别为 8.13%, 7.25% 和 7.13%,伴生种有兔耳草 (*Lagotis glauca*)、垂穗披碱草、直立梗唐松草,优势度分别为 6.42%, 6.31% 和 5.96%,其余 5 科 13 属 13 种植物的优势度为 27.43%。

6 年生老芒麦 + 冷地早熟禾混播群落由 26 种植物组成,隶属 17 科 21 属。优势种植物为老芒麦,其优势度为 40.29%,次优势种为冷地早熟禾,优势度为 10.22%,伴生种有直立梗唐松草、高山唐松草 (*Thalictrum alpinum*)、密花香薷等,优势度分别为 5.16%, 4.98% 和 4.63%,其余 14 科 17 属 21 种植物的优势度为 30.09%;6 年生老芒麦单播群落由 22 种植物组成,隶属 15 科 20 属。优势种植物为老芒麦,其优势度为 28.04%,次优势种为甘肃马先蒿,优势度为 24.96%,伴生种有高山唐松草、直立梗唐松草、白苞筋骨草等,优势度分别为 5.97%, 5.32% 和 4.36%,其余 11 科 16 属 16 种植物的优势度为 31.35%;原生植被封育 6 年后植物群落由 35 种植物组成,隶属 14 科 30 属。优势种植物为垂穗披碱草,优势度为 10.41%,次优势种为双叉细柄茅 (*Ptilagrostis dichotoma*)、青藏棱子芹 (*Pleurespermum pulszkyi*)、麻花苻 (*Gentiana straminea*)、小嵩草 (*Kobresia pygmaea*) 和早熟禾,优势度分别为 6.66%, 5.94%, 5.91%, 5.64% 和 5.48%,伴生种有羊茅 (*F. ovina*)、苔草 (*Carex* spp.)、黑褐苔草 (*C. atrofusca*)、异叶米口袋 (*Gueldenstaedtia multiflora*) 和矮嵩草 (*K. humilis*) 等,优势度分别为 4.77%, 4.43%, 4.32%, 4.31% 和 4.06%,其余 9 科 22 属 24 种植物的优势度为 38.08%;对照区(6 年)植物群落由 21 种植物组成,隶属 13 科 18 属。优势种植物为播娘蒿,优势度为 16.79%,次优势种有兔耳草、白苞筋骨草、青藏棱子芹和藏忍冬等,优势度分别为 9.79%, 9.55%, 9.01% 和 8.82%,伴生种有黄帚 吾、海乳草、铁棒锤 (*Aconitum pendulum*)、鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*) 和露蕊乌头 (*A. gymnantrum*) 等,优势度分别为 5.32%, 4.79%, 4.12%, 4.05% 和 4.04%,其余 5 科 9 属 11 种植物的优势度为 23.72%。

### 3.2 不同处理区植物群落物种丰富度、多样性与均匀度比较

草地植物群落物种丰富度,即其所含的植物物种总数,是群落多样性的最基本特征。草地生态系统的可持续

性和草地生产力的维持在很大程度上依赖于草地群落的生物多样性。不同处理条件下草地植物群落的物种丰富度、多样性指数、均匀度指数因时间和空间的变化而有明显的差异(表 2)。

同年度比较,5 龄植物群落物种丰富度、多样性指数依次为对照 + 封育 > 对照 > 混播 > 单播;均匀度指数依次为对照 > 对照 + 封育 > 混播 > 单播。6 龄植物群落物种丰富度依次为原生 + 封育 > 混播 > 单播 > 对照;多样性指数依次为原生 + 封育 > 对照 > 混播 > 单播;均匀度指数依次为原生 + 封育 > 对照 > 单播 > 混播。不同年龄比较,对照区 5 和 6 龄植物群落物种丰富度、多样性指数和均匀度指数变化不大,而混播群落和单播群落变化明显。6 龄植物群落的物种丰富度、多样性指数和均匀度指数较 5 龄植物群落明显增加。这是由于人工草地的管理不到位以及老芒麦、冷地早熟禾生物、生态学特性和杂类草的入侵,使优势种植物老芒麦、冷地早熟禾种群数量和优势度下降,为甘肃马先蒿等杂草侵入创造了条件。整个群落向生态稳定性发展。

Geime<sup>[7]</sup>和 Kvaesth<sup>[8]</sup>的研究指出,物种多样性是群落的重要特征,是生态系统功能维持的生物基础,包括物种丰富度和均匀度 2 个方面。“全面衡量物种多样性需要从物种丰富度、均匀度和生态优势度 3 个方面进行比较,它们都从不同的角度反映群落物种组成结构水平,三者具有一定的联系”<sup>[8]</sup>。经相关分析表明(表 3),物种数与多样性指数呈极显著的正相关( $P < 0.01$ ),多样性指数与均匀度指数呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),物种数与均匀度指数呈显著正相关( $P < 0.05$ )。说明群落物种数、多样性和均匀度之间有着密切的正相关关系,此结果与上述研究结果相一致。

### 3.3 不同处理条件下植物群落生物量的比较

3.3.1 地上生物量的变化 地上生物量是反映草原生态系统、放牧系统稳定性的指标,其大小可判断草原状况,演替趋势,生产潜力和载畜能力<sup>[9]</sup>。研究地区人工草地植物群落地上生物量的干物质积累到每年 8 月底 9 月初达到最高,不同处理条件下 5 和 6 龄人工草地植物群落地上生物量以及主要经济类群生物量具有明显差异(表 4)。

表 3 不同处理区物种数、多样性、均匀度相关分析 (n=8)

Table 3 The correlation analyze on the richness index, diversity index and evenness index of plant community in different treatment

| 项目 Item | 物种数 S   | 多样性 H   | 均匀度 E |
|---------|---------|---------|-------|
| 物种数 S   | 1       |         |       |
| 多样性 H   | 0.925 1 | 1       |       |
| 均匀度 E   | 0.715 1 | 0.920 2 | 1     |

表 4 不同处理地上生物量比较(n=5)

Table 4 The compare of aboveground biomass of plant communities in different treatments

| 年龄 Year | 植物类群 Plant group   | PV          | LP          | ES          | CK          | CKF        | g/ m <sup>2</sup> |
|---------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------------|
| 5       | 禾草类 Grasses        | -           | 366.1 ±59.0 | 316.0 ±52.4 | 3.7 ±1.1    | 2.4 ±0.9   |                   |
|         | 杂类草 Forbs          | -           | 13.5 ±4.6   | 7.4 ±1.9    | 114.9 ±13.5 | 121.9 ±5.7 |                   |
|         | 莎草类 Sedges         | -           | 0           | 0           | 0           | 0          |                   |
|         | 总生物量 Total biomass | -           | 379.6 ±55.2 | 323.4 ±53.7 | 118.6 ±14.2 | 124.3 ±6.1 |                   |
| 6       | 禾草类 Grasses        | 184.1 ±26.3 | 257.1 ±14.0 | 89.8 ±21.7  | 1.6 ±0.1    | -          |                   |
|         | 杂类草 Forbs          | 59.6 ±6.5   | 9.2 ±3.6    | 101.0 ±21.9 | 87.3 ±11.3  | -          |                   |
|         | 莎草类 Sedges         | 66.4 ±7.9   | 0           | 0           | 0           | -          |                   |
|         | 总生物量 Total biomass | 310.1 ±35.5 | 266.3 ±12.2 | 190.8 ±38.9 | 88.7 ±11.3  | -          |                   |

通过方差分析可知,不同的处理( $P < 0.01$ ,  $F = 12.71$ )、主要经济类群( $P < 0.01$ ,  $F = 19.58$ )、不同年龄( $P < 0.01$ ,  $F = 8.69$ )对生物量的作用极显著。对方差分析中作用显著的群落进行多重比较分析(LSD)结果表明,在不同处理的植物群落中,CKF 与 LP、ES、PV, CK 与 LP、ES、PV 群落之间的生物量差异极显著( $P < 0.01$ );PV 与 LP 处理之间的生物量差异极显著( $P < 0.01$ ),PV 与 ES 处理,LP 与 ES 处理,CKF 与 CK 处理之间的生物量差

异不显著 ( $P > 0.05$ )。

由表 4 可知,5 龄人工草地混播 (LP5) 和单播 (ES5) 群落地上总生物量明显高于对照封育 (CKF5) 和对照 (CK5)。其中,LP5 处理、ES5 处理较 CKF5 处理分别提高 205.52% 和 160.31%; 较 CK5 处理分别提高 220.02% 和 172.66%, LP5 处理较 ES5 处理提高 17.37%, CKF5 处理较 CK5 处理提高 4.75%。

6 龄混播 (LP6) 和单播 (ES6) 群落地上总生物量较对照不封育 (CK6) 处理分别提高 200.23% 和 115.15%, 而原生植被通过 6 年的封育 (PV6), 地上总生物量最高, 较 LP6、ES6、CK6 处理分别提高 16.47%、62.53% 和 249.69%。

按主要经济类群分析,5 龄人工草地中,老芒麦 + 冷地早熟禾混播 (LP5) 群落地上生物量组成为禾草类 > 杂类草, 分别占地上总生物量的 96.45% 和 3.55%; 老芒麦单播 (ES5) 群落为禾草类 > 杂类草, 分别占地上总生物量的 97.70% 和 2.30%; 对照 + 封育 (CKF5) 群落为杂类草 > 禾草类, 分别占地上总生物量的 98.10% 和 1.90%; 对照 (CK5) 群落为杂类草 > 禾草类, 分别占地上总生物量的 96.88% 和 3.12%。由于该类草地处理前均为退化严重的次生裸地——“黑土滩”, 因此原生植被的建群种莎草类植物缺乏。

6 龄人工草地中,老芒麦 + 冷地早熟禾混播 (LP6) 群落地上生物量组成为禾草类 > 杂类草, 分别占地上总生物量的 96.55% 和 3.45%; 老芒麦单播 (ES6) 群落为杂类草 > 禾草类, 分别占地上总生物量的 52.95% 和 47.05%; 原生植被 + 封育 (PV6) 群落为禾草类 > 莎草类 > 杂类草, 分别占地上总生物量的 59.37%、21.40% 和 19.23%; 对照 (CK6) 群落为杂类草 > 禾草类, 分别占地上总生物量的 98.47% 和 1.53%。

不同年际间比较,按总生物量分析,5 龄植物群落地上生物量高于 6 龄植物群落,这种情况可能与不同年间的气候条件,尤其是降水、积温的差异,以及植物群落的演替阶段有关。按主要经济类群的比较,混播处理 (LP) 和对照处理 (CK) 在 2 年间禾草类和杂类草比例变化不大,差异不明显。而单播处理 (ES) 禾草类比例明显下降,杂类草比例增加,呈现退化趋势。这说明混播群落的垂直结构和水平结构较合理,各层能够充分分享光热资源,较好地发挥了各组种植物在群落中的功能作用,提高了光能利用率和生物生产力<sup>[10]</sup>。群落结构复杂,群落容纳量增大,种间竞争和种内竞争相对减弱,群落稳定性较高<sup>[11]</sup>。

从地上生物量的空间分布分析,植物群落地上生物量分布呈典型金字塔模式<sup>[11]</sup>,人工草地混播 (LP)、单播 (ES) 处理的生物量分布分别在 60 和 30 cm 的冠层中, PV 处理在 30 cm 的冠层中,而 CK 和 CKF5 处理的生物量仅分布在 10 cm 的冠层中。这个结果与王刚和蒋文兰<sup>[12]</sup>的研究结果一致。他们的研究指出,人工草地不仅使生物量明显提高,而且使生物量的空间分布格局更合理,而品种组合对人工草地群落稳定性的效应更明显<sup>[12]</sup>。

**3.3.2 地下生物量的变化** 由表 5 可知,植物群落地下生物量空间分布呈倒金字塔形式,5 龄植物群落地下生物量依次为混播 (LP) > 单播 (ES) > 对照 (CK)。生物量主要分布在 0~10 cm 的空间范围<sup>[4,5]</sup>。其中,LP5、ES5、CK5 和 CKF5 处理 0~10 cm 草皮层中的生物量分别占地下总生物量的 87.58%、78.28%、86.32% 和 70.37%; 10~20 cm 草皮层中分别占 9.18%、15.55%、10.13% 和 22.61%。6 龄人工草地植物群落地下生物量分布格局与 5 龄草地的分布格局相似,混播处理 (LP6)、单播处理 (ES6) 和对照处理 (CK6) 在 0~10 cm 土层中的生物量分别占地下总生物量的 66.77%、82.49% 和 74.94%; 10~20 cm 土层中生物量分别占 19.59%、12.21% 和 17.78%。原生植被封育 6 年后 0~10 cm 土层中的生物量占地下总生物量的 78.93%, 10~20 cm 土层中占 17.42%, 20~30 cm 土层中仅占 3.65%。上述研究结果与王启基等在海拔生态系统定位站的研究结果一致<sup>[11]</sup>。说明江河源区高寒草甸植物群落无论是人工草地还是天然草地,其地下生物量的分布格局,不仅与当地的高寒环境条件密切相关,而且与高寒地区植物的生理生态学特性有关。

不同处理条件下,5 龄草地植物群落地下、地上生物量比值依次为 CK5 (7.86) > CKF5 (5.98) > ES5 (4.48) > LP5 (4.03)。6 龄草地植物群落地下、地上生物量比值依次为 PV6 (22.31) > CK6 (8.46) > ES6 (5.98) > LP6 (5.84)。原生植被由于草皮层较厚而且富有弹性,植物群落可承受较高的牧压,而且还能起到涵养水分和固土的重要作用。人工草地和已退化的对照区,由于地下、地上生物量的比值较小,土壤疏松不耐践踏,因此涵养水分的能力和稳定性较差。该结果符合安渊等<sup>[9]</sup>的研究,地下、地上生物量比值可反映出植物对不同牧压和环境干旱程度的反应。

表5 不同处理条件下植物群落地下生物量比较 (n=3)

Table 5 The compare of underground biomass of plant communities in different treatments

g/m<sup>2</sup>

| 年龄<br>Year | 土深<br>Depth        | PV               | LP             | ES             | CK           | CKF         |
|------------|--------------------|------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| 5          | 0~10 cm            | -                | 1 339.9 ±172.3 | 1 133.0 ±309.5 | 804.6 ±128.7 | 522.9 ±81.0 |
|            | 10~20 cm           | -                | 140.5 ±56.1    | 225.1 ±45.3    | 94.5 ±25.1   | 168.0 ±17.5 |
|            | 20~30 cm           | -                | 49.6 ±11.5     | 89.3 ±33.7     | 33.0 ±6.7    | 52.2 ±13.2  |
|            | 总生物量 Total biomass | -                | 1 529.9 ±136.3 | 1 447.4 ±258.1 | 932.0 ±139.9 | 743.1 ±84.3 |
| 6          | 0~10 cm            | 5 462.6 ±1 840.1 | 1 039.0 ±89.4  | 941.5 ±118.5   | 562.1 ±185.2 | -           |
|            | 10~20 cm           | 1 205.7 ±219.9   | 304.8 ±59.0    | 139.4 ±61.5    | 133.4 ±76.4  | -           |
|            | 20~30 cm           | 252.3 ±66.0      | 212.2 ±52.1    | 60.5 ±35.4     | 54.6 ±33.4   | -           |
|            | 总生物量 Total biomass | 6 920.4 ±2 018.8 | 1 556.0 ±149.9 | 1 141.4 ±96.4  | 750.1 ±77.2  | -           |

方差分析表明,不同的处理方式、土层深度对地下生物量均有极显著影响 ( $P < 0.01$ ,  $F = 75.75$ ,  $F = 14.87$ ), 生育年龄对地下生物量无显著影响 ( $P > 0.05$ ,  $F = 0.87$ )。通过 LSD 分析,封育的原生植被 (PV6) 处理与混播 (LP6)、单播 (ES6) 及对照 (CK6) 的地下生物量有极显著性差异 ( $P < 0.01$ ),而对照 (CK) 与混播 (LP)、单播 (ES) 处理间的差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

### 3.4 群落稳定性分析

3.4.1 不同处理下人工草场异质性变化 该试验开始前,各处理草场均为退化较严重的“黑土滩”,而在不同的处理下,5龄与6龄草地植物群落结构相似性有较大变化(表6)。

表6 不同处理植物群落相似性比较

Table 6 The similarity compare of communities in different treatments

%

| 处理<br>Treatment | LP6 | ES6   | PV6   | CK6   | CK5   | CKF5  | LP5   | ES5   |
|-----------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| LP6             | 1   | 62.50 | 49.18 | 38.30 | 42.55 | 40.00 | 38.89 | 34.29 |
| ES6             |     | 1     | 49.12 | 46.51 | 46.51 | 43.48 | 43.75 | 38.71 |
| PV6             |     |       | 1     | 50.00 | 35.71 | 44.07 | 26.67 | 27.27 |
| CK6             |     |       |       | 1     | 52.38 | 48.89 | 25.81 | 26.67 |
| CK5             |     |       |       |       | 1     | 62.22 | 32.26 | 33.33 |
| CKF5            |     |       |       |       |       | 1     | 35.29 | 36.36 |
| LP5             |     |       |       |       |       |       | 1     | 42.11 |
| ES5             |     |       |       |       |       |       |       | 1     |

从表6可看出,随着演替的进行,群落相似性系数 ( $IS_s$ ) 增加。5~6龄,单播和混播群落间的  $IS_s$  提高 19.39%,共有种从4种增加到15种;混播和对照群落间的  $IS_s$  提高 6.04%,共有种从5种增到9种;单播和对照间的  $IS_s$  提高 19.39%,共有种从5种增到10种。群落间相似性系数的变化说明,单播 (ES) 与混播 (LP) 人工草地群落有趋同演化的趋势。5~6龄,人工草地群落结构的变化比对照群落结构变化更为明显。这与人工群落中杂类草如甘肃马先蒿、多裂委陵菜、青海风毛菊、多枝黄芪、白苞筋骨草、黄帚囊吾、直立梗唐松草、高山唐松草等的入侵有关。而人工草地群落随着结构的复杂化,与对照群落间的相似性提高,说明群落演替逐步向生态稳定性发展。

此外,随着生育年龄的增加,表现出单播群落的稳定性比混播群落更差,由于种内竞争加剧,导致群落优势种的优势度明显降低,较早发生退化,而混播处理由于群落配置时较为合理,较单播处理群落更稳定一些。这与王

刚的研究结果一致,他指出品种组合是调节人工草地种间竞争机制的主要途径,对人工草地群落稳定性有明确效应<sup>[12]</sup>。

**3.4.2 群落丰富度、多样性和均匀度与人工草场群落稳定性之间的相关性分析** 安渊等<sup>[9]</sup>的研究认为,特定资源生产力水平下草地群落固有的生物多样性,是保持草地稳定和健康发展的基础。王国宏认为,群落的稳定性受制于群落物种的多样性<sup>[13]</sup>。通过各种处理条件下,群落物种丰富度、多样性、均匀度与群落稳定性的比较分析表明,原生植被+封育处理物种丰富度最大,多样性指数和均匀度指数最大(表 2),它是该地区的气候顶极群落,是长期适应高寒环境和气候的结果,其群落稳定性最好。5~6 龄混播处理(LP)物种丰富度、多样性指数、均匀度指数分别提高 160.00%,49.66%和 5.82%,单播处理(ES)物种丰富度、多样性指数、均匀度指数分别提高了 144.44%,57.22%和 10.19%,对照处理(CK)物种丰富度没有变化,多样性指数仅增加了 2.11%。均匀度指数减少 6.54%。这一结果说明,5 龄人工草地由于群落结构简单,多样性指数和均匀度指数较低,群落稳定性也较差。随着生育年龄的延长和杂类草的入侵,群落物种丰富度和多样性指数增大,群落的生态稳定性相对增大,群落生产力呈现严重退化趋势。

**3.4.3 生物生产力的变化与群落稳定性** 不同处理区 6 龄地上生物量比较,原生植被+封育(VP)处理地上生物量最高,其次为混播群落(LP)和单播群落(ES),对照区(CK)最低。此外,地下、地上生物量比值依次为 PV6(22.31)>CK6(8.46)>ES6(5.98)>LP6(5.84)。由此可见,地下、地上生物量比值越大,越接近气候顶极群落,其群落稳定性越好。此外,5~6 龄地上总生物量呈降低趋势,其中总生物量在 LP 处理中降低了 29.74%,ES 处理降低了 41%,CK 处理降低了 25.21%;禾草类生物量在 LP 处理中降低了 29.77%,ES 处理降低了 71.58%,CK 处理降低了 56.76%。随着群落优势种的优势度下降,群落生产力稳定性也降低。单播处理的禾草比例较混播处理明显下降,杂类草比例增加,说明单播处理群落生产力稳定性较混播群落更差。混播群落结构复杂,群落容纳量增大,种间竞争和种内竞争相对减弱,群落稳定性相对较高<sup>[11]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 王启基,景增春,王文颖,等. 青藏高原草地资源环境及可持续发展研究[J]. 青海草业,1997,6(3):1-11.
- [2] Schulte R P O, Lantinga E A, Sturik P C. Analysis of the production stability of mixed grassland :A mathematical framework for the quantification of production stability in grassland ecosystems[J]. Ecological Modelling, 2003,159:27-69.
- [3] Schulte R P O. Analysis of the production stability of mixed grassland :A mathematical framework for the quantification of production stability in grassland ecosystems[J]. Ecological Modelling, 2003,159:71-77.
- [4] 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.
- [5] 董世魁,胡自治. 人工草地群落稳定性及其调控机制研究现状[J]. 草原与草坪,2000,(3):3-8.
- [6] 周志宇,付华,陈亚明,等. 阿拉善荒漠草地恢复演替过程中物种多样性与生产力的变化[J]. 草业学报,2003,12(1):34-40.
- [7] Grime J P. Biodiversity and ecosystem function: the debate deepens[J]. Science,1997,277:1260-1261.
- [8] Kvaesth T O. Note on biological diversity, evenness, and homogeneity measures[J]. Oikos,1991,62:123-127.
- [9] 安渊,李博,杨持,等. 内蒙古大针茅草原草地生产力及其可持续利用研究 放牧系统植物地上现存量动态研究[J]. 草业学报,2001,10(2):22-27.
- [10] 周兴民. 中国的高草草甸[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [11] 王启基,周兴民,沈振西,等. 不同调控策略下退化草地植物群落结构及其多样性分析[A]. 高寒草甸生态系统(第 4 集)[C]. 北京:科学出版社,1995. 269-279.
- [12] 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.
- [13] 王国宏. 再论生物多样性与生态系统的稳定性[J]. 生物多样性,2002,10(1):126-134.

**The structure , biodiversity and stability of artificial grassland plant communities  
in the source regions of the Yangze and Yellow River**

SHI Hui-lan<sup>1,2</sup> , WANG Qi-ji<sup>1</sup> , JING Zeng-chun<sup>1</sup> , WANG Chang-ting<sup>1,2</sup> , WANG Jie<sup>3</sup> , WANG Liu-ying<sup>4</sup>  
(1. Northwest Plateau Institute of Biology , the Chinese Academy of Sciences , Xi 'ning 810001 ,China ;  
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences ,Beijing 100039 , China ;3. Qinghai Animal  
Veterinarian Occupation College , Huangyuan 812100 , China ;4. Qinghai Academy of Husbandry and  
Veterinary Medicine , Xi 'ning 810003 ,China)

**Abstract :** This paper discusses the changes in structure , biodiversity , above-ground dry-weight biomass (DW) , and stability , of artificially planted grassland communities in the Yangze and Yellow River regions. Treatments used in the study were: *Elymus sibiricus* + *Poa* mixed-sowing grassland treatment (LP) , primary vegetation community with fertilization (VP) , *E. sibiricus* single-sowing grassland treatment (ES) , control and reservation community (CKF) and a control community (CK) . Results from the study indicated that between 5 years to 6 years of community succession , an increase in biodiversity , a decrease in biomass and an increase in the community similarity coefficient arose under different treatments compared with the CK treatment. In the 5 year-old communities , the above-ground dry-weight (DW) biomass in LP ,  $DW = 379.61 \text{ g/m}^2$  was greater than in ES ( $DW = 323.4 \text{ g/m}^2$ ) , CKF ( $DW = 124.3 \text{ g/m}^2$ ) , and in CK ( $DW = 118.6 \text{ g/m}^2$ ) . Measurements taken in 6 year-old communities , showed the accumulation of above-ground biomass to be greatest in VP treatment ( $DW = 310.1 \text{ g/m}^2$ ) , followed by LP ( $DW = 216.3 \text{ g/m}^2$ ) , ES ( $DW = 190.8 \text{ g/m}^2$ ) , and then CK6 ( $DW = 88.7 \text{ g/m}^2$ ) . The change of the community similarity coefficient showed the LP and ES treatments to have a tendency of convergent succession. The community similarity coefficient between artificial grassland communities and control communities was shown to be greater with increased complexity of grassland community structures , showing that the artificial grassland communities were in a stage of regressive succession. The stability of the communities improved with an increase in the biodiversity of the grassland communities and corresponding richness index.

**Key words :** the Source Region of the Yangze and Yellow River ; artificial grassland ; community character ; diversity ; community similarity coefficient ; community stability