文章编号:1673 - 5021(2006)03 - 0005 - 11

不同牦牛放牧率下江河源区垂穗披碱草/星星草混播草地第一性生产力及其动态变化

董全民[1,2,*],赵新全[1],马玉寿[2],李芙蓉[3],来德珍[3]

(1. 中国科学院西北高原生物研究所,青海 西宁 810002;
2. 青海省畜牧兽医科学院,青海 西宁 810003;3. 青海省果洛州草原站,814000)

摘要:江河源区 2 龄和 3 龄混播草地(垂穗披碱草 + 星星草)牦牛放牧试验结果表明:在两个放牧季内,不同处理组的地上生物量开始阶段逐渐增加,之后逐渐下降,且随放牧率的增加同一时期地上生物量减小;2003 年从 7 月 20 日开始、2004 年从 8 月 5 日开始至 9 月 20 日,不同放牧率下同一时期的地上生物量差异显著($P < 0.05$);各放牧处理区 2003 年同一时期的地上生物量均高于 2004 年,且牧草生长季节地上平均生物量及其年度变化之间的差异显著($P < 0.05$)。此外,不同放牧率下同一时期各土壤层地下生物量及其百分比组成、相同放牧强度下不同时期各土壤层地下生物量及其百分比组成均没有明显的趋向性变化;牧草生长季节地上平均生物量与放牧强度之间呈线性回归关系,0～30cm 的地下生物量(包括活根和死根)与放牧强度之间呈二次回归关系;牧草生长季节地上与地下平均生物量之间呈二次回归关系,说明轻度放牧和中度放牧能刺激牧草的生长,具有补偿或超补偿生长的特点。

关键词:牦牛放牧率;混播禾草草地;地上生物量;地下生物量;江河源区

中图分类号:S812.8 **文献标识码**:A

人工草地是在人工措施下完全或部分破坏原有天然草地植被的基础上,通过综合的农业培育技术措施所建立的人工草本群落[1]。从植物生态学的观点看,人工草地建植是对其所在地顶极或亚顶极植被的一个大的扰动,人工草地从其建植开始就存在着向原有的顶极或亚顶极状态恢复演替的潜力[2]。而要实现人工草地的持续利用与稳定发展,就得采取必要的利用措施,控制人工草地植被的演替。

在草地畜牧业领域,人工草地的管理及持续利用是一个倍受人们重视的研究方向。在许多国家,通过建植人工草地来快速恢复退化草地和发展草地畜牧业,仍是当前生态畜牧业和集约化畜牧业经营管理的主要途径。由于江河源区独特的地理位置和生态环境脆弱的特点,以及对我国乃至全球生态环境和气候变化的启动和调节作用,长期受到国内外学者的密切关注和高度重视,成为我国乃至国际科学界的研究热点区[3～6]。针对该地区生态环境恶化、气候寒冷、风沙、干旱灾害频繁的特点,从理论上探讨江河源区放牧对人工草地生态系统稳定性和可持续能力的影响,将为该地区人工草地合理持续利用和生态畜牧业的持续发展奠定理论基础[6]。

植物地上、地下生物量变化是草地生态系统研究的重要内容。降水和地温对天然草地第一性生产力(地上生物量和地下生物量)产生影响[7～9];对人工草地而言,除了降水和地温外,土壤肥力、牧草品种等也是第一性生产力的主要限制因素。然而,利用则是影响天然和人工草地第一性生产力的最大因素,利用方式及利用强度与牧草第一性生产力息息相关[10～12]。在国内,许多学者对不同放牧强度下天然草地地上、地下生物量进行了相关的研究[13～22],但这些研究结果大多是天然草地放牧试验的结果,而对人工草地的放牧研究相对较少。鉴于以上原因,本试验旨在研究不同牦牛放牧强度下垂穗披碱草(*Elymus natans*)/星星草(*Puccinellia tenuflora*)混播草地第一性生产力(地上、地下生物量)的动态变化,以确定合理的放牧强度,从而获得更高的草地生态系统生产力且达到经济效益和生态效益的统一,为人工草地经济效益的提高和生态环境的保护和治理提供科学依据,最终达到人工草地畜牧业持续发展的目的。

*通讯作者,E - mail: dongquanmin @hotmail.com 或 dqm850 @sina.com

收稿日期:2005 - 11 - 01;**修回日期**:2006 - 03 - 07

基金项目:国家"十五"攻关项目(2001BA606A - 02)

作者简介:董全民(1972 -),男,甘肃天水人,助理研究员,在读博士,主要从事草地放牧生态学研究及青藏高原"黑土型"退化草地的恢复与重建工作.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1　材料与方法

1.1　试验地自然概况

试验地设在青海省果洛州大武乡格多牧委会,位于北纬 34°17′～34°25′、东经 100°26′～100°43′,为一山间小盆地,平均海拔 3980m。高原寒冷气候类型,年均气温 - 2.6℃左右,≥0℃的年积温 914.3℃,日照时间 2576.0 h,年均降水量 513 mm,5～9 月降水 437.10 mm,占年降水量的 85.2%。无绝对无霜期,牧草生长期 110～130d。主要植被类型有高山嵩草草甸、高山灌丛草甸;土壤类型以高山草甸土和高山灌丛草甸土为主,黄河的支流格曲发源并流经这里。放牧试验在该牧委会 2002 年建植的披碱草/星星草混播人工草地上进行。

1.2　草场管理

在试验期内,每年 12 月下旬和翌年 4 月中旬用 D - 型生物毒素(青海省畜牧兽医科学院兽医所生产)对各处理区进行灭鼠(高原鼠兔和高原鼢鼠),6 月下旬(牧草拔节期)对草地进行追肥,追肥量为 10kg 尿素/hm^2。

1.3　试验设计

在当地牧户牛群内,选取生长发育良好、健康、阉割过的 2.5 岁公牦牛 16 头,体重是 100 ±5kg,随机分为 4 组(每组 4 头)。放牧强度按照草场地上生物量、草场面积和牦牛的理论采食率高低表示:极轻放牧(牧草利用率为 20%)、轻度放牧(牧草利用率为 40%)、中度放牧(牧草利用率为 60%)、重度放牧(牧草利用率为 80%)和对照(牧草利用率为 0%)(表 1)。试验从 2003 开始,试验期为每年 6 月 20 日～9 月 20 日。

表 1　放牧试验设计

Table 1　Design of grazing trial

放牧处理 Grazing treatments	牦牛数量(头) Number of yaks (heads)	围栏面积(hm^2) Enclosure area (hm^2)	放牧强度(头/hm^2) Grazing intensity (head/hm^2)
对　照(A)	0	1.0	0
极轻放牧(B)	4	1.52	2.63
轻度放牧(C)	4	0.76	5.26
中度放牧(D)	4	0.52	8.0
重度放牧(E)	4	0.38	10.52

1.4　测定内容和方法

1.4.1　草地群落地上、地下生物量

在试验期内,每半个月沿各处理小区对角线 100 m 样条各取 5 个重复样方(1.0 ×1.0 m^2),用扣笼法齐地刈割测定草地群落的地上生物量、立枯量和地表枯枝落叶量[23];然后将每个样方分为 4 个子样方(0.50 ×0.50m^2),选择植被分布均匀的一个子样方按 0～10cm、10～20cm 和 20～30 cm 分三层挖取根样,用 1 mm 土样筛和双层纱布在流水中洗干净,拣去沙砾及杂物[24]。

1.4.2　样品处理

所有样品在 80℃恒温箱中烘干至恒重,称其干重(本文地上、地下生物量均以干物质计)。

1.5　数据处理

用 Excel 和 SPSS 软件在计算机上应用一般性模型和曲线拟合方法进行数据的分析、处理和方差分析。

2　结果与分析

2.1　牧草生长季节地上生物量的动态变化

放牧不但改变草地的土壤环境,更重要的是减少了植物光合作用面积,导致营养物质生产和积累下降,从而影响地上生物量的形成[25,26]。由表 2 和 3 可以看出,在试验期内,2003 年和 2004 年不同处理组的地上生物量在开始阶段逐渐增加,之后逐渐下降,出现了"低—高—低"的变化趋势,而且随着放牧强度的增加同一时期地上生物量减小;2003 年从 7 月 20 日开始、2004 年从 8 月 5 日开始至 9 月 20 日,不同放牧强度下同一时期的地上生物量差异显著($P < 0.05$)。从地上生物量的变化动态来看,2004 年各放牧处理组均有一个峰值,而 2003 年轻度放牧组出现了 3 个峰值,对照组和中度放牧组有 2 个峰值,其它处理组各有 1 个峰值,且峰值生物量随放牧强度的增加而减小。这与姚爱兴等人[17]在湖南南山牧场对不同放牧强度下黑麦草/白三叶混播草地第一性生产力的研究结果、胡民强等人[14]在四川红池坝对不同放牧强度下以红三叶为主的混播草地的研究结果以及董世魁等人[21]在甘肃天祝县金强河地区对不同放牧强度下多年生混播禾草草地初级生产力的研究结果一致。此外,从表 2、表 3 也可以看出,随着放牧时间的延续,试验中后期不同处理组的地上生物量之间差异显著($P < 0.05$),这一结果也与姚爱兴等人[17]在人工草地、董全民等人[27,28]在高寒草甸以及王艳芬等人[19]在内蒙古典型草原上的研究结果一致。

从年度变化来看,各放牧处理区 2003 年同一时期的地上生物量均高于 2004 年,这与在该地区披碱草人工草地第 3 年地上生物量最大的惯论相

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

悖[29,30],但与胡民强等人[14]红三叶人工草地上放牧第2年的产量比第1年低的结论一致。一方面,这可能与该地区2004年牧草生长季节连续阴雨有关(2004年牧草生长季节的降水量较2003年高100%,地温低2～3℃),这也证实了地上生物量更易受降水和气温的影响[7～9]。同时,人工草地-牦牛放牧系统是一个高输出系统,如果输入(包括降水、温度等自然因素以及施肥、灭鼠、灭除杂草等管理措施)不足,必然引起该系统的输出(地上生物量)减少;另一方面,放牧对草地植物影响的"滞后效应"[31～33],可能也与2004年比2003年地上生物量低有关。

表2　不同放牧强度下2003年牧草生长季节(6～9月份)地上生物量季节动态变化(g/m^2)

Table 2　Seasonal changes of aboveground biomass under different stocking rates in growing season in 2003(g/m^2)

处　理 Treatments	日期 Measuring date						
	6月20日	7月5日	7月20日	8月5日	8月20日	9月5日	9月20日
A(对　照)	120.5	420.5	559.8a	831.0a	802.2a	851.5a	583.0a
B(极轻放牧)	120.5	249.5	206.6b	532.0a	566.3a	634.9a	581.7a
C(轻度放牧)	166.1	235.4	160.8b	246.4b	392.4a	264.0b	338.0a
D(中度放牧)	147.3	208.3	121.0b	204.4b	190.8b	142.2b	125.3b
E(重度放牧)	110.5	180.7	100.7b	91.8b	69.9c	37.0c	27.6c

注:在同一列中小写字母相同者为差异不显著;小写字母不同者为差异显著;下表同。

表3　不同放牧强度下2004年牧草生长季节(6～9月份)地上生物量季节动态变化(g/m^2)

Table 3　Seasonal changes of aboveground biomass under different stocking rates in growing season in 2004(g/m^2)

处　理 Treatments	日期 Measuring date						
	6月20日	7月5日	7月20日	8月5日	8月20日	9月5日	9月20日
A(对　照)	116.2	272.1	329.2	395.4a	301.7a	278.7a	250.2a
B(极轻放牧)	110.5	249.7	295.6	354.8a	245.9a	261.2a	234.9a
C(轻度放牧)	129.6	200.1	220.6	223.1a	188.2a	184.8a	188.6a
D(中度放牧)	120.5	136.6	164.2	199.1a	187.2a	87.0b	96.0b
E(重度放牧)	107.3	79.7	112.3	76.8b	49.5b	43.1c	34.2c

2.2　牧草生长季节地上平均生物量年度变化

随着放牧强度的增加,2003年和2004年牧草生长季节(6～9月份,下同)地上平均生物量下降,且不同处理组的地上平均生物量以及年度变化之间差异显著($P<0.05$)(表4)。2004年较2003年地上平均生物量低,除了放牧草地管理、施肥、气候因素外,还与放牧降低了披碱草在草地植被群落中的比例有关[37]。在两个放牧季内,随着放牧强度的增加,各处理间地上平均生物量的差异扩大,地上平均生物量成倍的降低,这种差异虽然是两年的放牧经历和气候条件共同作用的结果,但就每个放牧季而言,在环境条件相同的情况下不同放牧强度则是导致这种差异的主要原因[19]。

表4　不同放牧强度下牧草生长季节平均地上生物量年度变化(g/m^2)

Table 4　Yearly changes of average aboveground biomass under different stocking rates in growing season (g/m^2)

时间 Year	处理 Treatments				
	A(对照)	B(极轻放牧)	C(轻度放牧)	D(中度放牧)	E(重度放牧)
2003年	608.0a	413.1a	257.6a	162.8b	88.3b
2004年	250.2a	250.4a	190.7a	141.5a	71.8b
年度变化	-357.8a	-162.7a	-66.9b	-21.3b	-16.5b

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2.3　牧草生长季节地下生物量的动态变化

从表 5 和表 6 可以看出,在试验期内,不同放牧强度下同一时期各土壤层地下生物量、相同放牧强度下不同时期各土壤层地下生物量均没有明显的变化规律。这与王艳芬等人[18]在内蒙古典型草原、董全民等人[22]在高寒草甸上的结果不一致,他们认为

表 5　不同放牧强度下 2003 年牧草生长季节地下生物量的季节变化(g/m^2)

Table 5　Seasonal changes of belowground biomass under different stocking rates in 2003(g/m^2)

处　理 Treatment	土层深度 Soil stratums depth	日期 Measuring date						
		6 月 20 日	7 月 5 日	7 月 20 日	8 月 5 日	8 月 20 日	9 月 5 日	9 月 20 日
A (对　照)	0～10cm	288.9	443.5	492.8	542.2	1112.5	1127.3	1358.4
	10～20cm	132.4	176.9	270.6	306.6	714.0	487.4	262.2
	20～30cm	43.6	49.8	64.4	80.0	60.7	136.3	43.0
B (极轻放牧)	0～10cm	321.3	409.3	665.7	786.6	1079.9	823.6	611.8
	10～20cm	148.0	178.2	222.6	462.2	291.8	423.7	112.6
	20～30cm	53.3	92.9	110.7	177.8	60.7	83.0	26.7
C (轻度放牧)	0～10cm	355.1	795.0	932.8	1453.2	1180.6	897.7	1405.0
	10～20cm	133.7	148.0	192.9	248.9	285.9	168.9	278.5
	20～30cm	54.7	78.2	100.4	182.2	51.9	38.5	155.5
D (中度放牧)	0～10cm	345.7	750.6	885.2	1608.7	922.9	770.3	429.6
	10～20cm	88.4	107.5	118.7	213.3	309.6	281.5	204.4
	20～30cm	44.9	55.1	56.0	80.0	77.0	51.9	41.5
B (重度放牧)	0～10cm	399.1	803.9	843.9	1222.1	1416.2	543.7	891.8
	10～20cm	56.9	112.9	109.3	186.6	160.0	294.8	167.4
	20～30cm	34.7	44.9	49.8	84.4	80.0	60.7	45.9

表 6　不同放牧强度下 2004 年牧草生长季节地下生物量的季节变化(g/m^2)

Table 6　Seasonal changes of belowground biomass under different stocking rates in 2004(g/m^2)

处　理 Treatment	土层深度 Soil stratums depth	日期 Measuring date						
		6 月 20 日	7 月 5 日	7 月 20 日	8 月 5 日	8 月 20 日	9 月 5 日	9 月 20 日
A (对照)	0～10cm	1289.4	1656.0	1314.0	1558.0	2112.0	2700.3	739.0
	10～20cm	452.7	594.0	319.0	1020.0	559.0	629.4	216.0
	20～30cm	89.7	129.0	64.0	210.0	220.0	297.0	97.7
B (极轻放牧)	0～10cm	1214.4	1605.0	1653.0	2025.0	1079.0	2879.0	1006.4
	10～20cm	417.3	576.0	231.0	458.0	382.0	937.0	259.0
	20～30cm	86.7	114.0	126.0	111.0	180.0	279.0	110.7
C (轻度放牧)	0～10cm	1292.7	1548.0	1371.0	2314.0	1832.0	2893.0	1429.7
	10～20cm	369.6	450.0	200.0	445.0	638.0	758.0	180.6
	20～30cm	96.3	135.0	99.0	163.0	201.0	228.0	96.3
D (中度放牧)	0～10cm	1172.7	1341.0	1374.0	2080.0	1562.0	3493.0	1332.7
	10～20cm	632.7	873.0	895.0	395.0	441.0	849.0	313.7
	20～30cm	147.3	231.0	69.0	96.0	183.0	178.0	58.3
E (重度放牧)	0～10cm	1137.0	1485.0	1567.0	2490.0	1057.0	3205.0	964.0
	10～20cm	357.0	546.0	394.0	553.0	219.0	978.0	339.0
	20～30cm	102.0	156.0	77.0	175.0	134.0	177.0	81.0

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

0～10cm、10～20cm、20～30cm 和 0～30cm 的地下生物量随放牧强度的增大而减小。在本试验中，2003 年各放牧处理组 0～10 cm 地下生物量的最大值对照是 1358.83 g/m^2，出现在 9 月 20 日；极轻放牧和重度放牧组分别是 1079.89g/m^2 和 1416.15g/m^2，均出现在 8 月 20 日；轻度放牧和中度放牧组分别是 1453.19g/m^2 和 1608.73g/m^2，均出现在 8 月 5 日。各放牧处理 10～20cm 和 20～30cm 地下生物量也没有明显的变化规律。2004 年各放牧处理 0～10 cm 地下生物量的最大值对照、极轻放牧、轻度放牧、中度放牧和重度放牧组分别是 2700.30g/m^2、2879.00g/m^2、2893.00g/m^2、3493.00g/m^2 和 3205.00g/m^2，均在 9 月 5 日；各放牧处理 10～20cm 地下生物量的最大值出现的日期对照在 8 月 5 日，极轻放牧、轻度放牧和重度放牧组均在 9 月 5 日，中度放牧在 7 月 20 日；各放牧处理 20～30cm 地下生物量的最大值出现的日期，对照、极轻放牧、轻度放牧和重度放牧组均在 9 月 5 日，中度放牧组在 7 月 5 日。另外，董全民等人[22]报道，高寒草甸 0～10cm 地下生物量达 2500～4500g/m^2（包括活根和死根），0～30cm 达 2800～5100 g/m^2；王艳芬等人[18]报道，内蒙古典型草原0～30cm土层最高未超过 2000g/m^2（包括活根和死根）；Edyy[34]报道，无牧条件下地下生物量最低，以中度放牧最高，0～15cm 地下生物量为 2000～3000g/m^2（包括活根和死根）。这可能与草原类型、草地管理以及气候条件等因素有关[22,34,35]。

2.4　牧草生长季节不同土壤层地下生物量的比例变化

从表 7 和表 8 可以看出，在试验期内，2003 年和 2004 年不同放牧强度下同一时期各土壤层地下生物量组成、相同放牧强度下不同时期各土壤层地下生物量比例均没有明显的变化。不同放牧处理组 2003 年 0～10cm 的地下生物量占 0～30cm 地下总生物量的 55.14%～85.51%，10～20cm 占 9.66%～37.83%，20～30cm 占 2.58%～13.65%；2004 年0～10cm的地下生物量占 0～30cm 的 54.85%～83.96%，10～20cm 占 11.49%～38.28%，20～30cm 占 2.95%～10.97%。Eddy[34]报道，0～10 cm 地下生物量占 0～15 cm 的 90%；王艳芬等[18]报道，在内蒙古羊草和大针茅草原，0～10cm 地下生物量占 0～30cm 的比例约为 50%～60%，而以冷蒿小禾草为主的退化草地 0～10cm 地下生物量占 0～30cm 的 64%～75%；董全民等[22]人报道，高寒草甸 0～10cm 地下生物量占0～30cm的 88%～92%。这里值得注意的是，由于很难区分地下死、活根系，所以本试验中地下生物量均包括活根和死根。

表 7　不同放牧强度下 2003 牧草生长季节不同土壤层地下生物量比例的变化(%)

Table 7　Ratio of belowground biomass for different soil stratums under different stocking rates in growing season in 2003(%)

处理 Treatment	土层深度 Soil stratums depth	日期 Measuring date						
		6 月 20 日	7 月 5 日	7 月 20 日	8 月 5 日	8 月 20 日	9 月 5 日	9 月 20 日
A (对照)	0～10cm	62.14	66.18	59.53	58.37	58.95	64.38	81.66
	10～20cm	28.49	26.39	32.69	33.01	37.83	27.83	15.76
	20～30cm	9.37	7.43	7.78	8.61	3.22	7.78	2.58
B (极轻放牧)	0～10cm	61.48	60.16	66.64	55.14	75.39	61.92	81.46
	10～20cm	28.32	26.19	22.29	32.40	20.37	31.85	14.99
	20～30cm	10.20	13.65	11.08	12.46	4.24	6.24	3.55
C (轻度放牧)	0～10cm	65.33	77.85	76.08	77.12	77.76	81.23	67.81
	10～20cm	24.61	14.49	15.73	13.21	18.83	15.28	20.66
	20～30cm	10.06	7.66	8.19	9.67	3.41	3.49	11.54
D (中度放牧)	0～10cm	72.17	82.19	83.52	84.58	70.48	69.80	63.60
	10～20cm	18.46	11.78	11.19	11.21	23.64	25.50	30.26
	20～30cm	9.37	6.03	5.28	4.21	5.88	4.70	6.14
E (重度放牧)	0～10cm	81.34	83.60	84.14	81.85	85.51	60.46	80.70
	10～20cm	11.59	11.74	10.90	12.50	9.66	32.78	15.15
	20～30cm	7.07	4.67	4.96	5.65	4.83	6.75	4.16

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 8　不同放牧强度下 2004 牧草生长季节不同土壤层地下生物量比例的变化(%)

Table 8　Ratio of belowground biomass for different soil stratums under different stocking rates in growing season in 2004(%)

处　理 Treatment	土层深度 Soil stratums depth	日期 Measuring date						
		6 月 20 日	7 月 5 日	7 月 20 日	8 月 5 日	8 月 20 日	9 月 5 日	9 月 20 日
A (对照)	0～10cm	70. 39	69. 61	77. 43	55. 88	73. 05	74. 46	70. 25
	10～20cm	24. 71	24. 97	18. 80	36. 59	19. 34	17. 35	20. 53
	20～30cm	4. 90	5. 42	3. 77	7. 53	7. 61	8. 19	9. 22
B (极轻放牧)	0～10cm	70. 67	69. 93	82. 24	78. 06	65. 75	70. 31	73. 16
	10～20cm	24. 28	25. 10	11. 49	17. 66	23. 28	22. 88	18. 84
	20～30cm	5. 05	4. 97	6. 27	4. 28	10. 97	6. 81	8. 00
C (轻度放牧)	0～10cm	73. 51	72. 57	82. 10	79. 19	68. 59	74. 58	83. 96
	10～20cm	21. 02	21. 10	11. 98	15. 23	23. 89	19. 54	10. 58
	20～30cm	5. 48	6. 33	5. 93	5. 58	7. 53	5. 88	5. 46
D (中度放牧)	0～10cm	60. 06	54. 85	58. 77	80. 90	71. 45	77. 28	78. 21
	10～20cm	32. 40	35. 71	38. 28	15. 36	20. 17	18. 78	18. 38
	20～30cm	7. 54	9. 45	2. 95	3. 73	8. 37	3. 94	3. 41
E (重度放牧)	0～10cm	71. 24	67. 90	76. 89	77. 38	74. 96	73. 51	69. 65
	10～20cm	22. 37	24. 97	19. 33	17. 18	15. 53	22. 43	24. 49
	20～30cm	6. 39	7. 13	3. 78	5. 44	9. 50	4. 06	5. 85

2. 5　牧草生长季节不同土壤层地下平均生物量比例及其年度变化

从表 9 可以看出,随着放牧强度的增加,2003 年牧草生长季节 0～10 cm 地下平均生物量的百分比增加,而 10～20 cm 地下平均生物量的百分比减小;20～30 cm 在极轻放牧组最高,重度放牧组最低。2004 年 0～10 cm 在轻度放牧组最高,对照最低;而 10～20 cm 在中度放牧组最高,轻度放牧组最低;20～30 cm 随放牧强度的增加而减小。就年度变化而言,2003 年与 2004 年差异不大。

表 9　牧草生长季节不同土壤层地下平均生物量比例及其年度变化(%)

Table 9　Ratio and its change of average belowground biomass for different depth under different stocking rates in growing season(%)

年　度 Year	土层深度 Sioil strtums depth	处理 Treatments				
		A (对照)	B(极轻放牧)	C(轻度放牧)	D(中度放牧)	E(重度放牧)
2003 年	0～10cm	65. 49	65. 78	75. 50	76. 76	80. 44
	10～20cm	28. 68	25. 75	16. 85	17. 78	14. 30
	20～30cm	5. 83	8. 47	7. 65	5. 46	5. 26
2004 年	0～10cm	69. 89	72. 87	75. 76	69. 74	73. 52
	10～20cm	23. 30	20. 73	18. 17	24. 83	20. 91
	20～30cm	6. 80	6. 40	6. 07	5. 43	5. 57
年度变化	0～10cm	4. 40	7. 09	0. 26	- 7. 02	- 6. 92
	10～20cm	- 5. 38	- 5. 02	1. 32	7. 05	6. 61
	20～30cm	0. 97	- 2. 07	- 1. 58	- 0. 03	0. 31

2. 6　放牧强度与平均地上生物量、总地下生物量之间的关系

牧草生长季节地上平均生物量与放牧强度之间呈显著的线性相关(图 1)。地上生物量(6～9 月份的平均生物量)随放牧强度的增大而呈线性下降趋势,2003 和 2004 年地上平均生物量与放牧强度之间的关系均达到了极显著水平(< P < 0. 01),这与董全民、汪诗平、王艳芬和王仁忠等人[22,36,18,16]在天然草地以及董全民、董世魁、胡民强、王淑强、姚爱兴和耿文诚等人[37,21,14,17,38]在人工草地上的试验结果一致。0～30 cm 的地下生物量(包括活根和死根)与放牧强度之间呈二次回归关系(图 2)。2003 年地

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

下生物量与放牧强度间的二次回归关系未达到显著水平(0.05 < P < 0.10),而2004年达到显著水(P < 0.05),这与王艳芬、董全民等人[18,22]在天然草地上的试验结果不一致,但与Eddy[34]的结果一致。

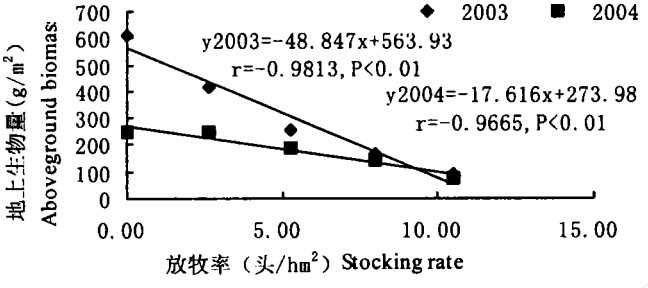

图1 放牧率与地上平均生物量的关系

Fig. 1 Relationship between aboveground average biomass and stocking rates

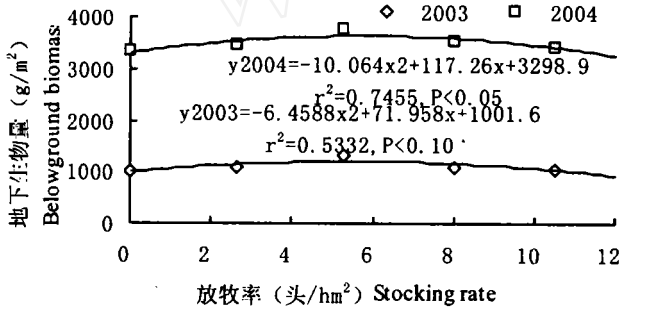

图2 放牧强度与地下生物量(0～30cm)的关系

Fig. 2 Relationship between total belowground biomass and stocking rates

2.7 地上平均生物量与地下平均生物量的关系

放牧强度明显地影响植物地上、地下生物量及光合产物在植物不同部位的分配(表3,表4)。从图3和图4可以看出,2003年和2004年牧草生长季节地上与地下平均生物量呈二次回归关系。2003年地上与地下平均生物量间的二次回归关系未达到显著水平(0.05 < P < 0.10),而2004年达到了显著水(P < 0.05)。

3 讨论

草-畜系统是受人为或气候等因素的影响而不断变化的,影响的强度会改变整个系统的状态和变化趋势,因此在研究牦牛放牧强度对披碱草/星星草混播草地地上、地下生物量的影响时,应以草场本身的条件和动态特征加以评价,应尽可能选择较多的气候类型和试验点,同时也要有足够的试验时间。另外,有关牦牛放牧强度对披碱草/星星草混播草地地上、地下生物量的影响还未见报道,加之放牧时间又短,因此有些结果尚需进一步的研究和探讨。

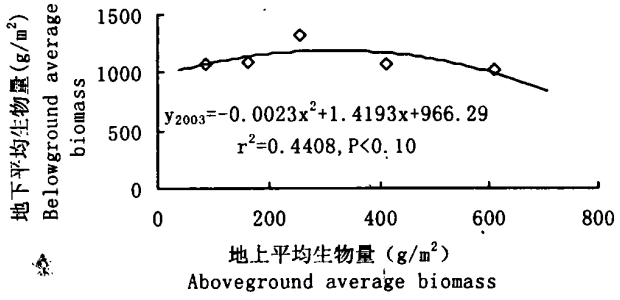

图3 2003年地下平均生物量(0～30cm)与地上平均生物量的关系

Fig. 3 Relationship between belowground average biomass (0～30cm) and aboveground average biomass in 2003

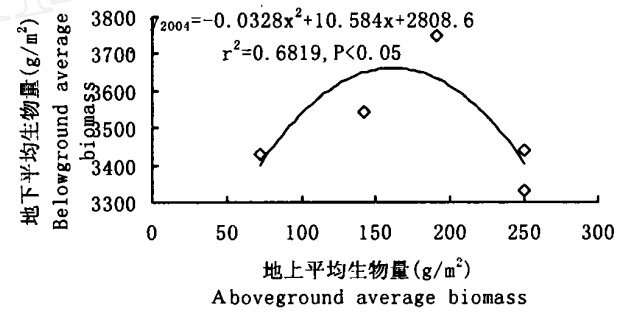

图4 2004年地下平均生物量(0～30cm)与地上平均生物量的关系

Fig. 4 Relationship between belowground average biomass and aboveground average biomass in 2004

放牧对地下生物量积累的影响是通过影响地上同化系统(叶)来实现的,即随放牧强度的增加及地上同化系统的减少,地下生物量也逐渐下降[16]。本试验地上与地下平均生物量间呈二次回归关系,这说明轻度放牧和中度放牧能刺激牧草的生长,具有补偿或超补偿生长的特点,这与其他许多学者的研究一致[19,39～45]。地上生物量(地上现存量+牦牛采食量)随放牧强度的增大而减小,这与Eddy[34]和王艳芬等人[19]在天然草地上的研究结果不一致,但与董全民等人[22,37]在天然草地和胡民强等人[14]、姚爱兴等人[17]在人工草地上的结论一致。这说明地上、地下生物量除受气候(水、热)和放牧等条件的影响外,还受许多其它因子的影响,尚待进一步研究和探讨。

4 结论

4.1 在两个放牧季内,不同处理组的地上生物量开始阶段逐渐增加,之后逐渐下降,且随着放牧强度的增加同一时期地上生物量减小;各放牧处理区2003年同一时期的地上生物量均高于2004年。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

4.2　在两个放牧季内,随着放牧强度的增加,各处理间地上平均生物量的差异扩大,地上平均生物量成倍的降低,且不同处理组的地上平均生物量以及年度变化之间的差异显著。

4.3　在两个放牧季内,不同放牧强度下同一时期各土壤层地下生物量及百分比、相同放牧强度下不同时期各土壤层地下生物量及其百分比均没有明显的趋向性变化。

4.4　牧草生长季节地上平均生物量与放牧强度之间呈线性回归关系,0～30cm 的地下生物量(包括活根和死根)与放牧强度之间呈二次回归关系。

4.5　在两个放牧季内,牧草生长季节地上与地下平均生物量之间呈二次回归关系。

参考文献(References):

[1] 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 G, Jiang W L. Study on population ecology of sown grassland [M]. Lanzhou: *Gansu Science and Technology* Press,1998.

[2] 王刚,吴明强,蒋文兰. 人工草地杂草生态学研究 Ⅰ:杂草入侵与放牧强度之间的关系[J]. 草业学报,1995,4(2):75-80.
Wang G, Wu M Q, Jiang W L. Study on the weeds ecology Ⅰ: Relationship between weeds invasion and grazing intensity [J]. *Acta Prataculturae Sinica*,1995,4(2):75-80.

[3] 周华坤,周立,赵新全,刘伟,严作良,师燕. 江河源区"黑土滩"型退化草地的形成过程与综合治理[J]. 生态学杂志,2003,22(5):51-55.
Zhou, H K, Zhou L, Zhao X Q, Liu W, Yan Z Z, Shi Y. Degradation process and integrated treatment of "black soil beach" grassland in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers[J]. *Chinese Journal of Ecology*,2003,22(5):51-55.

[4] 汪诗平. 青海省"三江源"地区植被退化原因及其保护策略[J]. 草业学报,2003,12(6):1-9.
Wang S P. Vegetation degradation and protection strategy in the "Three rivers fountainhead" area in the Qinghai provinces [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2003,12(6):1-9.

[5] 周华坤,周立,刘伟,赵新全,来德珍. 青海省玛多县草地退化原因及畜牧业可持续发展[J]. 中国草地,2003,25(6):63-67.
Zhou H k, Zhou L, Liu W, Zhao X Q, Lai D Z. Causes of grassland degradation and sustainable development of animal husbandry in Maduo County, Qinghai provinces[J]. *Grassland of China*, 2003,25(6):63-67.

[6] 马玉寿,郎百宁,李青云,李有福,李发吉. 江河源头草地生态环境现状及恢复途径[J]. 中国草地,1999,(6):59-61.
Ma Y S, Lang B N, Li Q Y, Li Y F, Li F J. Tthe present status of the grassland ecological environment in the headwater and the approaches to resume the deteriorated grasslands[J]. *Grassland of China*, 1999,(6):59-61.

[7] McNaughton S I. Ecology of grazing ecosystem; the Serengtis [J]. *Ecol. Monogr.* 1985, 55: 259-294.

[8] Hunt R, Nicholls R O. Stress and coarse control of growth and root-shoot parting in herbaceous plants[J]. *Oikos*, 1986, 47: 149-158.

[9] Andren O, Paustian K. Barley straw decomposition in the field: a comparison of modelss[J]. *Ecology*, 1987, 43: 1-20.

[10] Holmes W(唐文青译). 牧草生产及其利用[M]. 乌鲁木齐:新疆人民出版社,1987.
Homes W (Tang W Q. Traslator). Grass - Its production and utilization[M]. Wulumuri: *Xinjiang People Press*,1987.

[11] 任继周. 草地农业生态学[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
Ren J Z. Grassland agroecology[M]. Beijing: *China Agriculture Press*,1995.

[12] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
Ren J Z. Methods in grassland Science[M]. Beijing: *China Agriculture Press*,1998.

[13] 韩发,贲桂英,师生波,王启基. 放牧强度对高寒草甸植物生长和生产力的作用[A]. 高寒草甸生态系统(3)[C]. 北京:科学出版社,1991. 81-88.
Han F, Ben G Y, Shi S B, Wang Q J. Effects of stocking rate on plant growth and productivity of alpine meadow. Alpine Meadow [A] Ecosystem FASC (3) [C]. Beijing: *Science Press*, 1991. 81-88.

[14] 胡民强,陈宗玉,王淑强,廖国藩,刘玉红,李兆芳,唐树文. 红池坝人工草地放牧强度试验[J]. 农业现代化研究,1990,11(5):44-49.
Hu M Q, Chen Z Y, Wang S Q, Liao GP, Liu Y H, Li Z F, Tang SW. Study on grazing intensity of sown grassland in Hongchiba[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 1990,11(5):44-49.

[15] 王启基,周立,王发刚. 放牧强度对冬春草场植物群落结构及功能的效应[A]. 高寒草甸生态系统(4)[C],北京:科学出版社,1995. 353-364.
Wang Q J, Zhou L, Wang F G. Effect analysis of stocking intensity on the structure and function of plant community in winter-spring grassland,[A]. Alpine meadow ecosystem FASC (4)[C]. Beijing: *Science Press*, 1995. 353-364.

[16] 王仁忠. 放牧影响下羊草种群生物量形成动态的研究[J]. 应用生态学报,1997,8(5):505-509.
Wang R Z. Biomass formation dynamics of *Leymus chinensis* population affected by grazings[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997,8(5):505-509.

[17] 姚爱兴,王培,樊奋成,胡天明. 不同放牧处理下多年生黑麦草/白三叶草地第一性生产力研究[J]. 中国草地,1998,20(2):12-16,24.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Yao A X. Studies on primary productivity for swards of perennial ryegrass/white clover under different grazing treatments s[J]. *Grassland of China*, 1998, 20(2): 12 - 16, 24.

[18] 王艳芬, 汪诗平. 不同放牧强度对内蒙古典型草原地下生物量的影响[J]. 草地学报, 1999, 7(3): 198 - 202.
Wang Y F, Wang S P. Influence of different stocking rates on belowground biomass in Inner Mongolia steppes[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 7(3): 198 - 202.

[19] 王艳芬, 汪诗平. 不同放牧率对内蒙古典型草原牧草地上现存量和净初级生产力及品质的影响[J]. 草业学报, 1999, 8(1): 15 - 20.
Wang Y F, Wang S P. Influence of different stocking rates on aboveground present biomass and herbage quality in Inner Mongolia steppes[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 1999, 8(1): 15 - 20.

[20] 耿文诚, 马宁, 马岩德, 李太荣, 赵仕峰, 王龙, 陈松, 马佳能, 李维游. 人工草地绵羊系统优化研究 Ⅰ: 人工草地初级生产力[J]. 草业科学, 2000, 17(专集): 34 - 36.
Geng W C, Ma N, Ma Y D, Li T R, Zhao S F, Chen S, Ma J N, Li W Y. Optimal study of sown pasture - sheep systems Ⅰ: A brief report on pasture production s[J]. *Pratacultural Science*, 2000, 17(suppl.): 34 - 36.

[21] 董世魁, 丁路明, 徐敏云, 龙瑞军, 胡自治. 放牧强度对高寒地区多年生混播禾草叶片特征及草地初级生产力的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(1): 136 - 142.
Dong S K, Ding L M, Xu M Y, Long R J, Hu Z Z. Effect of grazing intensity on leaf characteristics and forage productivity on mixed pasture of perennial grasses in alpine region of Tibetan plateaus[J]. *Scientia Agricultura Scinica*, 2004, 37(1): 136 - 142.

[22] 董全民, 马玉寿, 李青云, 施建军. 牦牛放牧率对小嵩草高寒草甸地上、地下生物量的影响[J]. 四川草原, 2004, (2): 20 - 27.
Dong Q M, Li Q Y, Ma Y S, Shi J J. Effects of yaks stocking rates on aboveground and elowground biomass in *kobrecia parva* alpine meadows[J]. *Journal of Sichuan Grassland*, 2004, (2): 20 - 27.

[23] McNaughton S J, Milchunas D G, Frank D A. How can net primary productivity be measured in grazing ecosystem [J]. *Ecology*, 1996, 77(3): 974 - 977.

[24] Christiansen S T. Svejcar. Grazing effects on shoot and root dynamics and above and below - ground non - constructural carbohydrate in Caucasian bluestem [J]. *Grass and Forage Science*, 1988, 43(2): 111 - 119.

[25] 王仁忠, 李建东. 羊草草地放牧退化演替中种群消长模型的研究[J]. 植物生态学报, 1995, 19(2): 170 - 174.
Wang R Z, Li J D. Dynamic population models of the ecological dominance during the retrogressive succession of *Leymus chinenses* grasslands[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1995, 19(2): 170 - 174.

[26] 王仁忠, 李建东. 松嫩平原碱化羊草草地放牧空间演替规律的研究[J]. 应用生态学报, 1995, 6(3): 277 - 281.
Wang R Z, Li J D. Grazing succession pattern of alkalized *Aneurolepidium chinense* grassland on Songnen plains[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6(3): 277 - 281.

[27] 董全民, 马玉寿, 李青云, 施建军, 王启基. 放牧强度对高寒草甸暖季草场植被结构的影响[J]. 草业科学. 2004, 2: 48 - 53.
Dong Q M, Ma Y S, Li Q Y, Shi J J, Wang Q J. Effect of grazing intensity on vegetation structure in a warm - seasonal pasture of alpine meadows[J]. *Pratacultural Science*, 2004, 2: 48 - 53.

[28] 董全民, 马玉寿, 李青云, 施建军. 牦牛放牧率对小嵩草高寒草甸植物群落的影响[J]. 中国草地, 2004, 26(3): 24 - 32.
Dong Q M, Ma Y S, Li Q Y, Shi J J. Effects of stocking rates on plant community, aboveground present biomass and its composition in *Kobresia parva alpine* meadows [J]. *Grassland of China*, 2004, 26(3): 24 - 32.

[29] 王启基, 史惠兰, 景增春, 王长庭, 王法刚. 江河源区退化天然草地的恢复及其生态效益分析[J]. 草业科学, 2004, 21(12): 35 - 41.
Wang Q J, Shi H L, Jing Z C, Wang C T, Wang F G. Recovery and benefit analysis of ecology on degraded natural grassland of the source region og Yangtze and Yellow riverss [J]. *Pratacultural Science*, 2004, 12: 37 - 41.

[30] 马玉寿, 郎百宁, 李青云, 施建军, 董全民. 江河源区退化草地的恢复与重建技术研究[J]. 草业科学, 2002, 19(9): 1 - 5.
Ma Y S, Lang B N, Li Q Y, Shi J J, Dong Q M. Study on rehabil itating and rebuilding technologies for degenerated alpine meadow in the Changjiang and Yellow river source regions[J]. *Pratacultural Science*, 2002, 19(9): 1 - 5.

[31] 周立, 王启基, 赵今京, 周琪. 高寒草甸牧场最优放牧的研究 Ⅰ. 藏羊最大生产力放牧强度[A]. 高寒草甸生态系统(4)[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 365 - 376.
Zhou L, Wang Q J, Zhao J, Zhou Q. Studies on optimum stocking intensity in pasturelands of alpine meadow Ⅰ. Stocking intensity to maximize prodction of Tibetan sheep [A]. Alpine meadow ecosystem, FASC. (4) [C]. Beijing: *Science Press*, 1995, 365 - 376.

[32] 周立, 王启基, 赵今京, 周琪. 高寒草甸牧场最优放牧的研究 Ⅱ 轮牧草场放牧强度的最佳配置[A]. 高寒草甸生态系统(4)[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 378 - 390.
Zhou L, Wang Q J, Zhao J, Zhou Q. Studies on optimum stocking intensity in pasturelands of alpine meadow Ⅱ The optimal combination between stocking intensities in rotational grazing grasslands[A]. Alpine meadow ecosystem, FASC. (4) [C]. Beijing: *Science Press*, 1995. 378 - 390.

[33] 周立, 王启基, 赵今京, 周琪. 高寒草甸牧场最优放牧的研究 Ⅳ 植被变化度量与草场不退化最最大放牧强度[A]. 高寒草甸生态系统(4)[C]. 北京: 科学出版社, 1995. 403 - 418.
Zhou L, Wang Q J, Zhao J, Zhou Q. Studies on optimum stocking intensity in pasturelands of alpine meadow Ⅳ. The measuring of vegetation change and the maximum stocking in-

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

tensities of no degeneration in grasslands[A]. Alpine meadow ecosystem, FASC. (4) [C]. Beijing: *Science Press*, 1995. 403 - 418.

[34] Edyy van der Maarel, Argenta Titlyanova. Aboveground and belowground biomass relations in steppes under different grazing conditions[J]. *Oikos*, 1989, 56:364 - 370.

[35] Frank A B. Carbon dioxide fluxes over a grazed prairie and seeded pasture in the Northern Great Plains[J]. *Environmental Pollution*, 2000, 116: 397 - 403.

[36] 汪诗平, 李永宏, 陈佐忠. 内蒙古典型草原草畜系统适宜放牧率的研究 II. 以牧草现存量和净初级生产力为管理目标[J]. 草地学报, 1999, 7(3): 183 - 191.
Wang S P, Li Y H, Chen Z Z. The optimal stocking rate on grazing system in Inner Mongolia Steppe II. Based on relationship between stocking rate and aboveground net primary productivitys[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 1999, 7(3): 183 - 191.

[37] 董全民, 赵新全, 马玉寿, 代勇, 李有福. 牦牛放牧率对江河源区混播禾草地上初级生产量及种间竞争力的影响[J]. 中国草地, 2005, 27(2): 1 - 8.
Dong Q M, Zhao X Q, Ma Y S, Dai Y, Li Y F. Effects of stocking rate for yaks on competition ratio and aboveground net primary productivity of mixed sown grassland wth two perennial grasses in changtze and Yellow river source regions [J]. *Grassland of China*, 2005, 27(2): 1 - 8.

[38] 王淑强, 李兆方, 胡直友, 赵国. 人工草地绵羊放牧与割草综合利用的研究[J]. 草地学报, 1996, 4(3): 221 - 227.
Wang S Q, Li Z F, Hu Z L, Zhao G. Study on utilization pattern of sown pasture - based sheep grazing and cuttings [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 1996, 4(3): 221 - 227.

[39] Lacery J R, Van Poollen H W. Comparison of herbage production on moderately grazed and ungrazed western ranges s [J] *J. Range. Manage.*, 1981, 34: 210 - 212.

[40] Noy - Meir I. Compensating growth of grazed plants and its relevance to the use of rangelands[J]. *Ecological Application*, 1993, (3): 32 - 34.

[41] Belsky AJ. Does herbivory benefit plants: a view of the evidence[J]. *Amer. Nat.*, 1986, 127: 870 - 892.

[42] Belsky AJ, Carson WP, Jenson CL, Fox CA. Overcompensation by plants: herbivory optimization or red hening ?[J]. *Evol. Ecol.*, 1993, 7:109 - 121.

[43] Mathews JNA. The benefit of overcompensation and herbivory: the difference between coping with herbivories and liking them[J]. *Amer. Nat.*, 1994, 144:528 - 533.

[44] Paige KN. Overcompensation in responses to mammalian herbivory: from mutualistic to antagonistic interactions[J]. *Ecology*, 1992, 73: 2076 - 2085.

[45] Vail SG. Overcompensation, plant - herbivory mutualism, and mutualistic coevolution: a reply to Mathews[J]. *Amer. Nat.*, 1994, 144: 534 - 536.

Effects of Yaks Stocking Rates on Primary Productivity And Its Dynamic Changes for Mixed-Sown Sward of *Elymus nutans*/ *Puccinellia tenuflora* in Yangtze and Yellow River Headwater Region

DONG Quan-min[1,2], ZHAO Xin-quan[1], MA Yu-shou[2], LAI De-zhen[3]

(1. *Northwest Plateau Institute of Biology, The Chinese Academy of Science, Xining* 810001, *China;*
2. *Qinghai Academy of Animal and Veterinary Sciences, Xining* 810003, *China;*
3. *Guoluo Prefecture Grassland Station of Qinghai Province, Dawu Township* 814000, *China)*

Abstract: The result of grazing trial for yaks in two-and three-year mixed-sown pasture of *Elymus nutans* + *Puccinellia tenuflora* in Yangtze and Yellow River headwater region showed that: during two grazing seasons, aboveground biomass of different treatments gradually increased in the beginning, and then gradually decreased, and with the increase of stocking rate, aboveground biomass for the same phases decreased; from the 20th of July in 2003 and the 5th of August in 2004 to the 20th of September every year, aboveground biomass for the same stages under different stocking rate had significant difference ($P < 0.05$); aboveground biomass of every treatment for the same period in 2003 was more than that in 2004, respectively, and aboveground average biomass and its annual changes were significantly different under different stocking rate ($P < 0.05$). Moreover, during grazing for two seasons, underground biomass and its percentage composition for the same depth and time under different stocking rates, and for the same depth and different time under the same stocking rates, had neither tropism changes; there was a linear regres-

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

sion relationship between aboveground average biomass of forage growing season and stocking rate, and a quadratic regression relationship between underground biomass of 0～30cm depth (including living and dead root) and stocking rates. Finally, there was a quadratic regression relationship between above- and underground biomass in forage growing season, which showed that light and moderate grazing could activate the growth of forage, and had compensating and overcompensating growth.

Key words: Yaks stocking rate; Mixed-sown pasture with perennial grasses; Aboveground biomass; Underground biomass; Yangtze and Yellow River headwater region

【责任编辑　刘天明】

(上接第 4 页)

Decomposition of *Deyeuxia angustifolia* Litter in Sanjiang Plain and Dynamics of Sulfur Release

LI Xin-hua[1,2], LIU Jing-shuang[1], YANG Ji-song[1,2]

(1. *Northeast Institute of Geography and Agricultural Ecology, CAS. Changchun,* 130012 *China;* 2. *Graduate School of CAS, Beijing* 100039, *China*)

Abstract: Using litterbags, the dynamics of decomposition and sulfur release from *Deyeuxia angustifolia* litter in Sanjiang Plain were studied during two growth seasons, the results showed that the decomposition mode of *Deyeuxia angustifolia* litter were the alternate changes of fast-slow, the mass remaining rate were both declined with the time and they were 70.87% and 66.28% respectively in the typical meadow *Deyeuxiaangustifolia* and marsh meadow *Deyeuxiaangustifolia* after decomposing for 480 days, and its decomposition rates were $0.0006117d^{-1}$ and $0.0006745d^{-1}$ respectively, and no obvious difference in mass lost for both litters were observed. The concentrations of sulfur in the litter of typical meadow *Deyeuxia angustifolia* and marsh meadow *Deyeuxiaangustifolia* were both undulately changed during the litter decomposition and had linear relationship with dry matter remaining. The release patterns of sulfur form the litter of the typical meadow *Deyeuxia angustifolia* and marsh meadow *Deyeuxia angustifolia* were both leaching-immobilization-release, which were governed by the ratioes of C to S in the remaining matter of litter and sulfur from litter of typical meadow *Deyeuxia angustifolia* began releasing quickly when the ratio of C to S declined to 908.59, while the sulfur from litter of marsh meadow *Deyeuxia angustifolia* began releasing quickly, when the ratio of C to S were 1451.41.

Key words: Sanjiang plain; *Deyeuxia angustifolia* wetland; Litter; Decomposition; Sulfur; Release

【责任编辑　刘天明】

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net