第24卷 第2期 青 海 草 业 Vol. 24. No. 2
2015年6月 QINGHAI PRATACULTURE Jun. 2015
文章编号:1008-1445(2015)02-0002-06

试验研究

青海湖北岸草地矿物元素分布格局

李天才
(中国科学院西北高原生物研究所,青海 西宁 810008)

摘要:为了了解青海湖北岸草地矿物元素的分布格局,在青海湖北岸选择不同草地类型的7个试验样地,采集各样地主要优势种和伴生种植物,通过矿物元素含量分析测试,总结出青海湖北岸草地矿物元素的空间和时间分布格局,为草地矿物元素对于草地演替响应分析,以及草地矿物元素蓄积分异行为研究等提供科学依据。

关键词:草地矿物元素;分布格局;蓄积分异;青海湖北岸
中图分类号:S812 文献标识码:A

草地矿物元素是草地植物生长发育所必需的营养成分,主要来自于草地土壤,在草地植物体内完成各自的生理生化功能,营养着植物个体并使草地植物生长发育和繁衍。同时,草地矿物元素贯穿于草地生态系统,伴随着草地生物地球化学循环而存在,因此,草地矿物元素必然伴随着草地生态系统的更新演替而发生变化[1,2]。分析青海湖北岸草地矿物元素的分布格局,为草地矿物元素对于草地演替响应分析、草地矿物元素蓄积分异行为研究,以及草地矿物元素理论的建立等提供基础的科学依据[3~5]。

1 样地概况

依据草地类型的不同[6~9],选择青海湖北岸刚察县境内的河边滩地(沼泽草甸)、那仁火车站(芨芨草草原)、烂泥湾(针茅草原)、加洋沟山顶(高寒草甸)和封育种植等7个试验样地,见表1。

2 样品分析

样品采集:2009年9月初于各试验样地内设1.0m×1.0m样方,并就样方内优势种和次优势种植物分别齐地面刈割,分种袋装,在每一样地内各植物种样品分别采集3份为重复,阴干,保存备用;同时采用土钻法分层采集相应样地(0~10cm、10~20cm、20~30cm、30~40cm)的土壤样品,3次重复,阴干,保存备用。

样品处理:植物样品采用自来水、蒸馏水分别冲洗、烘干等预处理;土壤样品经烘干、研磨、过100目筛(2mm)等预处理,然后用$HClO_4$和HNO_3(V∶V,1∶4)进行消化处理,定容,备用。

分析方法:Cu、Zn、Fe、Mn、Co、Ni、K、Na、Ca、Mg、Li、Sr等元素采用火焰原子吸收仪标准曲线法加标回收分析测试;Pb等采用流动注射氢化法原子吸收仪标准曲线法加标回收测试;Cd、Cr等采用石墨炉原子吸收仪标准曲线法测试;P采用721分光光度计标准曲线法加标回收测试。

仪器试剂:TAS-986原子吸收分光光度计(北京普析通用有限公司);WHG-103A流动注射氢化物发生器(北京浩天晖有限公司);GFH-986原子吸收石墨炉电源(北京普析通用有限公司);721分光光度计(上海第二分析仪器厂)。标准溶液购自中国计量科学研究院,试剂均为分析

基金项目:青海省自然科学基金项目(2013-Z-917)

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

纯。

数据统计: 对测试数据采用 SPSS 17.0 软件分别进行算数平均值、标准差等统计计算和 t 检验统计分析。

3　结果与讨论

3.1 草地矿物元素的空间分布格局

3.1.1　青海湖北岸南北向天然草地中矿物元素空间分布格局　青海湖北岸自南至北草地类型依次为河边滩地(垂穗披碱草型高寒草甸)、那仁火车站(芨芨草型温性干草原)、烂泥湾(紫花针茅型高寒山地干草原)、北山加洋沟山顶(小嵩草草甸),草地矿物元素含量随着草地类型的变化而变化(表2),表现出自南至北随着海拔高度的增加,草地矿物元素也增加的变化趋势(图1~图4)。自南至北的河边滩地、那仁车站、烂泥湾和加洋沟,随着海拔3 209m、3 216 m、3 291 m、3 462 m 的增加,封育草地植物中 Cu 元素含量依次为 6.127mg/kg、7.868mg/kg、7.275mg/kg、9.319mg/kg,草地植物中矿物元素含量与海拔之间具有正相关性,即青海湖北岸草地中矿物元素类似于草地植被的垂直带状谱分布,具有自南至北随着海拔高度增加而增加的空间分布格局[1,2]。

表1　试验样地概况

样地名称	草地类型	样地设置	地理位置	海拔高度/m
加洋沟山顶	高寒草甸	退化草地(通道) 封育草地(2000 年封)	N 37°23.0~N 37°22.5 E 100°14.6~E 100°14.4	3500~3400
烂泥湾	高寒山地干草原	退化草地(通道) 封育草地(1980 年封)	N 37°18.0~N 37°17.6 E 100°14.5~E 100°14.1	3320~3280
那仁车站	温性干草原	退化草地(通道) 封育草地(1980 年封)	N 37°15.0~ N 37°14.8 E 100°16.4~E 100°16.1	3220~3210
河边滩地	高寒草甸	退化草地(通道) 封育草地(1985 年封)	N 37°14.5~N 37°14.3 E 100°13.6~E 100°13.3	3210~3200
县城西	—	封育种植 (2003 年封)	N 37°18.5~N 37°18.6 E 100°06.4~E 100°06.6	3287
三角城羊场	—	封育种植 (1985 年封、2008 年封)	N 37°15.3~N 37°15.4 E 100°12.3~E 100°12.4	3230
铁路边坡	—	封育种植 (1989 年封 2005 年封)	N 37°14.6~N 37°14.7 E 100°16.2~E 100°16.3	3216

表2　青海湖北岸各试验样地草地植被中矿物元素含量　　单位: mg/kg、m

样地名称		P	Cu	Pb	海拔
河边滩地	退化草地	86.17±41.71a	7.670±4.836a	3.915±2.726a	3209
	封育草地	97.89±46.94b	6.127±4.622b	5.125±3.597b	
那仁车站	退化草地	118.7±55.54a	9.160±5.483a	6.180±2.662a	3216
	封育草地	107.7±58.94b	7.868±4.648b	7.777±5.556b	
烂泥湾	退化草地	125.4±67.05a	10.48±5.046a	7.093±1.448a	3291
	封育草地	112.5±49.61b	7.275±4.662b	7.443±2.874b	
加洋沟	退化草地	92.45±44.86a	8.262±4.303a	11.31±1.657a	3462
	封育草地	81.82±32.72b	9.319±6.515b	8.262±4.644b	

注: a、b 分别代表同一元素同一样地在退化与封育草地之间的显著性差异, $p<0.05$。

对比各类型草地中同一植物中同一矿物元素,北样地较南样地同一植物中矿物元素含量高,如: 烂泥湾和那仁车站封育草地芨芨草中 Fe、Ca 元素含量分别由 366.6mg/kg 增加到 514.9mg/

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

kg、1760mg/kg 增加到 2174mg/kg，海拔由 3216m 增加到 3291m；那仁车站和河边滩地退化草地星星草中 Cu、Zn 分别由 2.672mg/kg 增加到 4.654mg/kg、65.72mg/kg 增加到 95.55mg/kg，海拔由 3209m 增加到 3 216m，随着自南至北海拔高度的增加，相邻不同类型草地同一植物中同一元素含量在增加（表 3），即青海湖北岸草地典型植物中矿物元素具有自南至北随着海拔高度的增加而增加的空间分布格局。

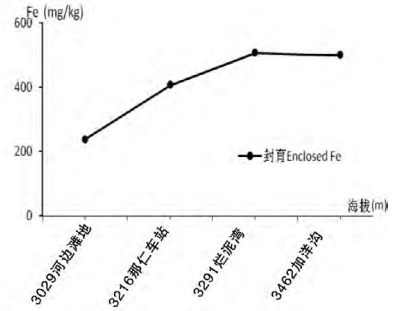

图 1　青海湖北岸封育草地中 Fe 元素空间分布

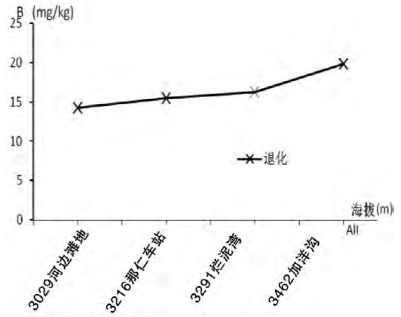

图 2　青海湖北岸退化草地中 B 元素空间分布

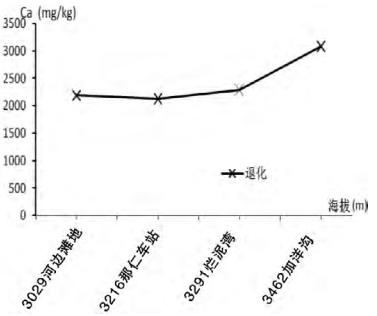

图 3　青海湖北岸退化草地中 Ca 元素空间分布

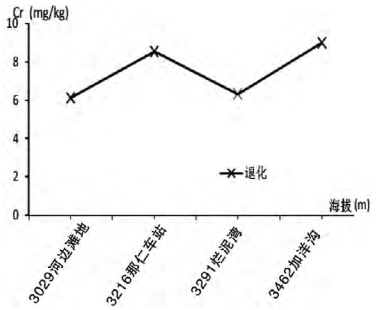

图 4　青海湖北岸退化草地中 Cr 元素空间分布

表 3　青海湖北岸退化草地与封育草地中同一植物中矿物元素　单位：mg/kg

植物名称	样地名称	草地类型	Fe	Cu	Zn	Ca	Sr
芨芨草	那仁车站	封育	366.6	0.908	29.61	1760	25.33
	烂泥湾	封育	514.9	3.891	30.44	2174	93.04
星星草	河边滩地	退化	577.0a	2.672a	65.72a	2092a	40.76a
		封育	99.80b	2.184b	22.95b	1378b	11.69b
	那仁车站	退化	369.9a	4.654a	95.55a	1930	58.96a
		封育	486.6b	4.126b	58.38b	2002	52.69b
赖草	那仁车站	退化	656.5a	5.825a	67.04a	2291	77.13a
		封育	539.0b	7.889b	40.01b	2300	154.6b
	烂泥湾	退化	453.9a	5.617a	55.58a	2153a	99.62a
		封育	395.5b	2.483b	43.20b	1968a	74.82b
委陵菜	河边滩地	退化	699.8a	11.20a	65.89a	2359a	145.6a
		封育	328.9b	8.947b	104.6b	2449b	205.4b
	烂泥湾	退化	332.7a	12.72a	54.07a	1855a	179.8a
		封育	636.4b	11.82b	84.17b	2409b	286.9b

注：a、b 分别代表同一元素同一样地在退化与封育草地之间的显著性差异，$p < 0.05$。

3.1.2　青海湖北岸东西向人工草地中矿物元素空间分布格局　青海湖北岸自东至西依次是铁路边坡、三角城种羊场和县城西等人工种植的样地中矿物元素，表现出自东至西随着海拔高度的增

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

加而增加的变化趋势。三样地都种植有垂穗披碱草，自东向西铁路边坡、三角城羊场、县城西的海拔分别为3 216m、3 220m、3 287m，各样地垂穗披碱草中Zn元素含量分别为30.07mg/kg、37.96mg/kg、42.01mg/kg，垂穗披碱草中Al元素含量同样自东至西随着海拔的增加而增加（表4，图5，图6），同一种植物中矿物元素随着海拔高度的增加而增加，即青海湖北岸草地中矿物元素具有自东至西随着海拔高度的增加而增加的空间分布格局[1,2]。

表4　青海湖北岸人工草地中同一植物中矿物元素　　单位：mg/kg、m

植物名称	样地名称	Cu	Zn	Fe	Ca	Li	Pb	海拔
垂穗披碱草	铁路边坡	3.480a	30.07a	202.2a	466.4a	5.008a	1.267a	3216
	三角城羊场	4.251b	37.96b	316.8b	1471b	6.689b	2.938b	3230
	县城西	3.483	42.01c	313.4	1651c	8.037c	2.914	3287
披碱草	铁路边坡	2.353a	18.58a	91.97a	244.1a	4.433a	0.6420a	3216
	三角城羊场	2.620b	37.31b	317.9b	1737b	5.849b	2.583b	3230
草地早熟禾	三角城羊场	4.251a	37.96a	316.8a	1619a	5.541a	2.018a	3230
	县城西	4.973b	47.35b	422.3b	1888b	193.1b	3.515b	3287

注：a、b和c分别代表同一元素同一种植物在不同样地之间的显著性差异，$p<0.05$。

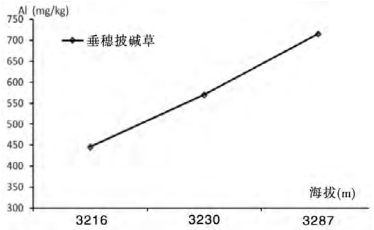

图5　青海湖北岸退化草地中Al元素空间分布

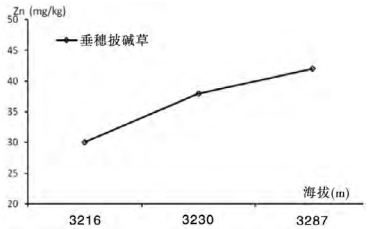

图6　青海湖北岸退化草地中Zn元素空间分布

青海湖北岸自南向北、自东向西各类型草地中矿物元素均具有随海拔增加而增加的变化趋势，即青海湖北岸草地矿物元素随海拔增加而增加的空间分布格局与该研究区域内地形地貌相一致，刚察县地处祁连山系大通山脉中段，北部高山绵延，南部较低缓，形成由西北向东南倾斜的梯形地势。青海湖北岸草地矿物元素的空间分布格局与区内地势一致，可能与区域地质特征、区域内地质构造活动以及和地球化学背景等有关，各类型草地植物与其生长环境相适宜，长期的适应进化形成了各类型草地独特的矿物元素特征谱，进而形成了与地形相一致的草地矿物元素的空间分布格局。其次，区内气候为典型的高原大陆性气候，寒冷干燥多风，干湿分明。地区差异大，垂直变化明显。降水少而集中，蒸发强烈。区内典型的垂直变化明显的气候特征，可能也是形成草地矿物元素特征谱，以及草地矿物元素空间分布格局的成因之一。因此，青海湖北岸草地矿物元素空间分布格局的成因是：在区域地质背景相同的条件下，由于区内气候明显的垂直变化，形成草地植被的生长具有垂直带状谱特征，即海拔低处较高处相对充足的水分、太阳辐射和温度的有利的气候条件下，植物长势以及生长期相对优越，进而形成了草地植物株高和地上生物量也随着海拔高度的增加而减小的空间分布格局，又因为草地植物具有矿物元素与株高负相关的特征，则草地植物中矿物元素的空间分布格局的形成是必然的，即青海湖北岸自南向北、自东向西各类型草地中矿物元素具有随海拔增加而增加的空间分布格局。

3.2　矿物元素的时间分布格局

那仁车站、三角城羊场样地分别是温性干草原类芨芨草型草原、高寒山地干草原类紫花针茅型草原，分别有不同封育期的围栏封育草地，以各地退化草地为对照，则各样地在不同封育时间条件下草地矿物元素具有随着封育时间的增加而降低的时间分布格局。那仁车站5年和20年封育期草地植被中矿物元素Zn分别为77.01mg/kg、55.46mg/kg，B分别为19.12mg/kg、15.29mg/kg，随着草地封育期的增加，植被中矿物元素含量趋于降低减小（表5）。封育草地中矿物元素的变化

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

是草地封育时间的响应，草地生态系统的演替进程中伴随着草地中矿物元素的动态变化，即草地矿物元素具有随封育时间的增加而降低的时间分布格局[1,2]。

三角城羊场东侧 2 年和 25 年封育期草地植被中矿物元素 Zn 分别为 43.78mg/kg、43.27mg/kg，K 分别为 3451mg/kg、3284mg/kg，草地植被中矿物元素含量趋于降低减小，草地矿物元素具有随封育时间的增加而降低的时间分布格局。与那仁车站样地相比较，三角城羊场样地不同封育期的草地矿物元素含量变化较小，即草地矿物元素对封育时间比较敏感，封育 5 年较 2 年期草地矿物元素变化大，可能与封育期内植物群落的演替密切相关，即草地矿物元素对封育期应该有一个最佳响应，在自然状态下，天然草地中矿物元素的极值期可能是该草地正、逆向演替的最优期，也是正、逆向演替的一个分水岭。

表 5　青海湖北岸各封育草地植被中矿物元素　单位：mg/kg

样地名称	时间	Zn	K	Ca	Na	B	Pb
那仁车站	退化（对照）	72.80 ± 28.46a	2714 ± 150.1a	2126 ± 146.9a	370.4 ± 116.1a	15.48 ± 4.713a	6.180 ± 2.662a
	封育（2005 年封）	77.01 ± 34.21b	2648 ± 332.2b	2257 ± 213.3b	379.5 ± 162.0	19.12 ± 5.686b	11.19 ± 10.72b
	封育（1989 年封）	55.46 ± 21.30b	2756 ± 326.0	2236 ± 204.3b	324.9 ± 136.7a	15.29 ± 4.196	7.777 ± 5.555
三角城羊场	封育（2008 年封）	43.78 ± 12.86	3451 ± 704.5b	2256 ± 319.1b	212.8 ± 137.3b	15.31 ± 2.951	5.409 ± 2.463
	封育（1985 年封）	43.27 ± 16.11	3284 ± 429.3b	2255 ± 181.3b	231.6 ± 94.33b	15.89 ± 3.077	8.753 ± 6.980b

注：a、b 分别代表同一元素同一样地在退化与封育草地之间的显著性差异，$p < 0.05$。

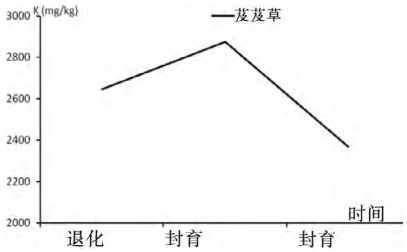

图 7　那仁车站封育草地中 K 的时间分布

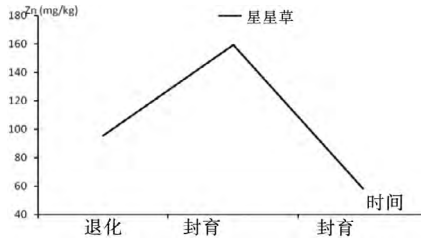

图 8　那仁车站封育草地中 Zn 的时间分布

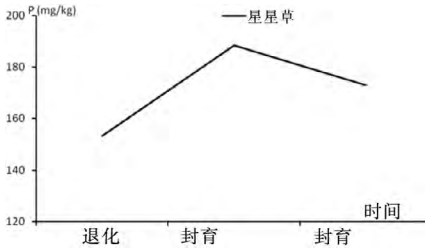

图 9　那仁车站封育草地中 P 的时间分布

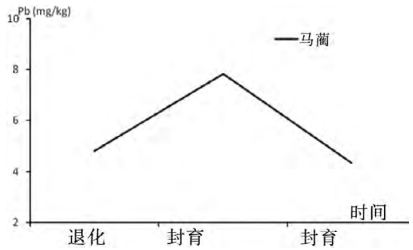

图 10　那仁车站封育草地中 Pb 的时间分布

那仁车站不同封育期的同一植物中矿物元素也具有随封育时间的增加而降低的时间分布格局。芨芨草、星星草和马蔺等封育期 5 年较 20 年的矿物元素含量高，随着封育期的增加，草地植物中矿物元素含量趋于减小（图 7 ~ 图 10），可见草地植物中矿物元素对于草地封育时间极为敏感，且有一个最佳响应值。三角城羊场 2 年和 25 年封育期异叶青兰、委陵菜、蜜花棘豆等伴生种植物中矿物元素具有随封育时间的增加而降低的时间分布格局，即 2 年封育期较 25 年封育期同一植物中矿物元素含量高；而优势种植物如紫花针茅、赖草、草地早熟禾等同一植物中矿物元素对于时间的响应特征不明显，甚者相反之，可见，草地矿物元素对草地封育期是有一个最佳响应，可能封育 2 年期群落演替尚不明显，即封育 2 年期的草地植物还在群落的自然演替中而未表现出草地恢复与

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

修复的明显效果。

青海湖北岸草地植物中矿物元素的时间分布格局，反映了草地植物群落演替进程，草地封育初期植物株高、地上生物量等群落特征明显，而群落植物中矿物元素的变化不明显，草地中矿物元素对于封育时间有一个响应过程，一般来说是一个滞后期。天然草地在人类活动影响下发生自然演替时，其中矿物元素的变化是一个蓄积分异过程，在有利环境条件下草地群落正向演替时矿物元素先蓄积再分异，而在不利环境条件下逆向演替时矿物元素可能是持续性蓄积直至耐受极限而崩溃。通过草地演替进程中矿物元素动态变化的监测与分析，了解草地生态系统的自然演替与健康，为草地生态系统的科学化管理与决策提供科学的理论依据。

4 主要结论

青海湖北岸自南向北、自东向西草地矿物元素均具有随海拔增加而增加的空间分布格局，即具有与地形地貌相一致的空间分布格局。

青海湖北岸封育草地中矿物元素具有随封育时间的增加而降低的时间分布格局。

参考文献:

[1] 李天才. 草地矿物元素 [M]. 北京: 化学工业出版社，2014，48 ~ 59.

[2] 李天才. 青海湖北岸草地矿物元素分布格局与蓄积分异行为研究 [D]. 甘肃农业大学，2013.

[3] 李天才. 青海湖北岸草地矿物元素特征 [J]. 青海草业，2015，24(1): 2 ~ 6.

[4] 李天才，曹广民，柳青海，等. 青海湖北岸退化与封育草地土壤与优势植物中四种微量元素特征 [J]. 草业学报，2012，21(5): 213 ~ 221.

[5] 李天才，陈桂琛，曹广民，等. 青海湖北岸退化草地和封育草地中钾、钙、镁等矿质常量元素特征 [J]. 草地学报，2011，19(5): 752 ~ 759.

[6] 李旭谦. 青海湖流域草地类型及其分布 [J]. 青海草业，2009，18(4): 20 ~ 23.

[7] 陈桂琛，陈孝全，苟新京. 青海湖流域生态环境保护与修复 [M]. 西宁: 青海人民出版社，2008，76 ~ 87.

[8] 陈桂琛，彭敏. 青海湖地区植被及其分布规律 [J]. 植物生态学与地植物学报，1993，17(1): 71 ~ 81.

[9] 彭敏，陈桂琛. 青海湖地区植被演变趋势的研究 [J]. 植物生态学与地植物学报，1993，17(3): 217 ~ 223.

THE DISTRIBUTION PATTERN OF MINERAL ELEMENTS IN GRASSLAND ON THE NORTH BANK OF QINGHAI LAKE

LI Tian - cai

(Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xining Qinghai 810008, China)

Abstract: The aims of this study were to get to know the distribution pattern of mineral elements in grassland plants on the north bank of Qinghai Lake. We choose the seven grasslands on north bank of Qinghai Lake for test sample, through comparative analysis of mineral elements of the grassland, we finally find the mineral elements in grassland plants showed spatial and time distribution pattern. This research will provide some scientific basis for other research such as: analysis the response to the succession of grassland ecosystem, the accumulating differentiation behavior of mineral elements in grassland.

Key words: Mineral elements in grassland; Distribution pattern; Accumulating differentiation; North bank of Qinghai Lake.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net