



祁连山冷龙岭南麓垂直带植被移地试验中 鹅绒委陵菜克隆生长特征

薛晓娟^{1,2}, 李英年^{1,3*}, 张法伟¹, 王建雷^{1,2}, 汪诗平¹, 杜明远⁴

(1 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 中国科学院高原生物适应与进化重点实验室, 西宁 810001; 4 日本农业环境技术研究所, 日本 筑波 305-8604)

摘要:在祁连山东段冷龙岭南麓海拔 3 200~3 800 m 的 4 个样地间按主要植被类型进行双向移地试验, 以自然垂直带移地样方内鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)为研究对象, 调查其克隆生长对气候变化的响应和适应特征。结果表明: 鹅绒委陵菜从海拔 3 200 m 和 3 400 m 分别双向移至 4 个不同海拔区生长 1 年后, 所有样地中 1 条匍匐茎的植株最多(占 43.66%), 4 条匍匐茎的最少(占 4.23%); 随海拔升高, 它们的匍匐茎总条数分别表现为逐渐增多和减少—增加—减少的趋势, 基株高度和基叶数均呈先增加后减少的显著变化趋势, 分株数逐渐增加, 间隔子长度分别呈先增加后减少和增加—减小—增加的趋势; 匍匐茎长度在移到 3 400 m 时最大, 移到 3 800 m 时最小。研究发现, 移地后鹅绒委陵菜的匍匐茎数、基株高度、基叶数、分株数、间隔子长度等均可发生变化; 鹅绒委陵菜对不同海拔高度的生态环境表现出不同的克隆生长特征, 以适应环境稳定种群。

关键词:祁连山冷龙岭南麓; 移地试验; 鹅绒委陵菜; 克隆; 生长特征

中图分类号: Q945.3; Q948.11

文献标识码: A

Clonal Growth Characteristics of *Potentilla anserina* in Transplanted Experiment on Vertical Zone Southern Slope of Lenglongling, Qilian Mountains

XUE Xiao-juan^{1,2}, LI Ying-nian^{1,3*}, ZHANG Fa-wei¹, WANG Jian-lei^{1,2},
WANG Shi-ping¹, DU Ming-yuan⁴

(1 Northwest Plateau Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Key Laboratory of Adaptation and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810001, China; 4 National Institute for Agro-Environmental Science 305-8604, Japan)

Abstract: In order to understand the response of *Potentilla anserina* to climate change, we surveyed its clonal growth in reciprocal transplanted experiment on natural vertical zone along the southern slope of Lenglongling, Qilian Mountains. The result showed that *P. anserina* with one stolon was the most and its proportion was up to 43.66%. The proportion of *P. anserina* with four stolons was only 4.29%. The total stolons increased with the hoist of elevation transplanted from 3 200 m, while they decreased first, then increased, and decreased at last with the increase of elevation transplanted from 3 400 m. The height and the

收稿日期: 2009-06-09; 修改稿收到日期: 2009-09-27

基金项目: 中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-06-01); 中日合作项目; 中国科学院西北高原生物研究所百人计划项目

作者简介: 薛晓娟(1982-), 女(汉族), 在读硕士研究生, 主要从事植物生态学研究。E-mail: iamxuexiaojuan@126.com

* 通讯作者: 李英年, 学士, 研究员, 硕士生导师, 主要从事全球变化生态学研究。E-mail: ynl@nwpb.ac.cn

numbers of leaves of genet of *P. anserina* transplanted from 3 200 m and 3 400 m were significant different with altitudes, and they decreased first and then increased with the increase of elevation. The number of ramet of *P. anserina* increased with the increase of elevation. The stolon length of *P. anserina* was the longest in 3 400 m, and the shortest in 3 800 m transplanted from 3 200 m and 3 400 m, the trending of change increased first and then decreased. The length of spacer increased first and then decreased with the increase of elevation transplanted to different altitudes from 3 200 m, and the length of spacer increased first, then decreased and increased at last with the increase of elevation transplanted from 3 400 m. The response of all aspects in clonal growth of *P. anserina* changed significantly. The different clonal growth features were occurred in adapting varied elevation transplanted, which was to maintain *P. anserina* population stability.

Key words: southern slope of Lenglongling; reciprocal transplanted experiment; *Potentilla anserina*; clone; growing characteristic

当今生态研究的热点之一是全球变化,而陆地生态系统受全球变化影响的主要研究内容是温室效应,高海拔高纬度地带生态系统对全球变化的反应最为敏感^[1,2],是生态学家研究的焦点,并取得了很大的成就^[3,4]。据 2007 年 IPCC 第四次评估报告,过去百年(1906~2005 年)变暖趋势为 0.74℃(0.56~0.92℃),这比 2001 年 IPCC 的变暖趋势 0.60℃(0.4~0.8℃)要高。过去 50 年变暖趋势是每 10 年升高 0.13℃(0.10~0.16℃),几乎是过去 100 年来的 2 倍^[5]。在高原和高山极端环境影响下所形成的高寒草甸生态系统极其脆弱,对人类干扰和因温室效应引起的全球气候变化极其敏感,对这些干扰和变化的响应具超前性^[6]。

目前,国内外对鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)的研究较多,涉及到它的克隆生长特征和繁殖分配^[7]、空间拓展性^[8]、生物学特性^[9]、无性系结构^[9]、匍匐茎扩散模式^[10]、不同光照下的形态可塑性^[11],以及不同退化草甸^[7,12]、不同土壤养分和水分背景^[13]、不同植被类型^[14]和不同放牧强度下的克隆生长特征研究^[15]等。鹅绒委陵菜作为高寒草甸退化的指示物种之一^[16],研究其克隆生长特征和繁殖分配具有重要的意义。本试验将山体垂直带不同海拔高度植被进行对调移栽,以典型匍匐茎植物鹅绒委陵菜为材料,在空间代替时间的模拟温室效应下,探讨相同植被移栽到不同海拔高度后鹅绒委陵菜克隆生长的变化状况,进而为研究气候变暖对高寒草甸植被的影响以及高寒草甸对全球气候变化的响应提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

本研究在中国科学院海北高寒草甸生态系统定位站(简称海北站)进行。海北站位于青藏高原东北

隅的青海海北藏族自治州门源回族自治县,祁连山北支冷龙岭东段南麓坡地的大通河河谷西段,地理位置为 37°29′~37°45′N、101°12′~101°23′E。该区具有明显的高原大陆性气候,东南季风及西南季风微弱。由于高海拔条件制约,气温极低,无明显四季之分,仅有冷暖二季之别,干湿季分明,地区年平均气温 -1.7℃,年平均降水量 560 mm^[17]。

本试验区设于海北站东面 9 km 处祁连山冷龙岭南麓坡顶的矮嵩草(*Kobresia humilis*)草甸和金露梅(*Potentilla fruticosa*)灌丛。海拔 3 200 m 处为矮嵩草草甸;3 400 m 处为金露梅灌丛;3 600 m 处群落主要优势种为青藏苔草(*Carex moorcroftii*)、矮嵩草、异针茅(*Stipa aliena*)等;3 800 m 海拔处,群落主要优势种为青藏苔草、异针茅、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、矮火绒草(*Leontopodium nanum*)、矮嵩草等。对应土壤类型在 3 200 m 为草毡寒冻锥形土,其余均为暗沃寒育锥形土^[18]。

1.2 样地设置及取样方法

自海北站(3 200 m)开始,向东至山顶(4 400 m,距海北站直线距离约 9 km),每升高 200 m 建立 1 个面积为 8 m×20 m 的样地,共 7 个样地。每个样地架有简易微气象观测仪,观测项目包括 10 cm、20 cm、50 cm 土壤层的温度和湿度,地表上 1.5 m 高处的空气温度和湿度。于 2006 年 7 月底开始长期观测,每 0.5 h 记录一次数据。由于海拔 3 900 m 以上基本为流石坡,植被稀疏,且多分布点地梅属(*Androsace*)等苔原植物,土层极薄,仅进行微气象观测。

2007 年 5 月在 3 200 m 到 3 800 m 之间的 4 个样地,按主要植被类型进行双向移地试验,即将山体不同海拔高度植被挖掘面积 1 m×1 m、厚度 0.3~0.5 m 的原状土柱移栽到其他不同海拔,每个高度的原状土柱 3 个重复。为了消除移地挖掘对植被生

长的可能影响,在每个高度处原地不移动的原状土柱也按相同方法进行了挖掘和就地移动处理。所有原状土柱侧围均用塑料布包围。

各海拔高度双向移地植被经过一年多的生长,在2008年8月底对所有移地样方内鹅绒委陵菜的生长状况进行调查。由于海拔3600 m和3800 m的原状植被在移栽前没有鹅绒委陵菜,故本研究仅是从3200 m和3400 m移往同海拔或其他3个海拔高度样方内取样。在每个移地样方内随机选取3株,调查分株高度、叶片数、分株数目、匍匐茎数、匍匐茎节数、匍匐茎长度等指标。

1.3 数据处理

利用SPSS16.0软件进行ANOVA方差分析3200 m和3400 m移地到不同海拔后分株表型(分株高度、叶片数、分株数目、匍匐茎数、匍匐茎节数、匍匐茎长度等)变化的差异显著性,然后进行多重比较检验分株之间的变化差异。

2 结果与分析

2.1 温度沿海拔高度的变化特征

观测发现,祁连山东段南坡气温、地温随海拔升高逐渐降低。从3200 m到4400 m,气温与海拔具有显著的负线性关系(图1);年平均气温从3200 m(-0.43°C)到4400 m(-6.15°C)共下降 5.72°C ,其随海拔升高的递减率为 $0.51^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ 。同时,气温随海拔升高而下降的速率因季节有所不同,如从3200 m到4400 m,1月份平均气温递减率约为 $0.26^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,4月份为 $0.75^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,7月份为 $0.42^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,12月份为 $0.15^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$,表现出春季高、冬季低的特点,这与冬季大气层较稳定,易形成逆温有关。

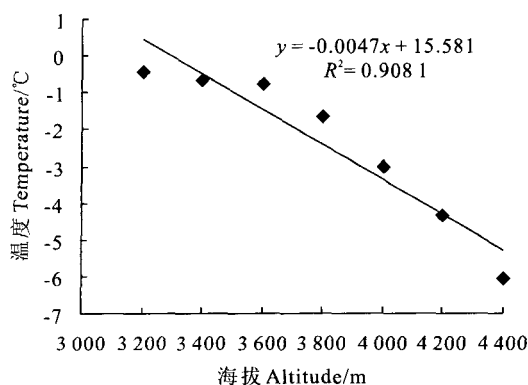


图1 气温沿海拔高度的变化特征

Fig. 1 Changes of air temperature along altitude from 3200 m to 4400 m

2.2 移栽植被鹅绒委陵菜分株数变化特征

在3200 m和3400 m移栽到各海拔高度的71个鹅绒委陵菜分株中,15个无匍匐茎,占21.13%,31个有1条匍匐茎,占43.66%。随匍匐茎数的增加,分株比例明显减少,如仅有3个分株具有4条匍匐茎,占总样本数的4.23%(表1)。

从3200 m移往各海拔的样方内,随海拔升高,无匍匐茎和有1条匍匐茎的分株逐渐减少,具2条匍匐茎的分株逐渐增加;其在3400 m和3600 m各有1株具3条匍匐茎,在3600 m和3800 m分别有1株和2株具4条匍匐茎。从3400 m移往各海拔的样方内,无匍匐茎和有2条匍匐茎的分株也随海拔升高逐渐减少,有1条匍匐茎的分株逐渐增加,有3条的只在3600 m有2株,有4条的在3400 m有1株。由此可知,就地移栽的样方内鹅绒委陵菜的匍匐茎总数最少,3200 m只有5条,3400 m有7条;从3200 m移往高海拔后,匍匐茎总数逐渐增多,从3400 m移往高海拔后的匍匐茎总数量也比移向低海拔或就地移动的多(表1)。

平均来看,从3200 m移往各个海拔后,鹅绒委陵菜基株的匍匐茎数与产生的分株数相关性显著($r=0.990, P<0.01$),基株的匍匐茎越多,产生的分株数量就越多;从3400 m移往各海拔后,这种相关性不明显($r=0.278, P>0.05$)。同时,从3200 m移往各海拔后,分株数目随海拔升高逐渐增多,并以3800 m处最多;从3400 m移往各海拔后,分株数目沿海拔升高不具明显的变化规律。

2.3 移栽植被鹅绒委陵菜基株生长特征

在本研究中,定性地认为产生匍匐茎的即为基株。海拔对鹅绒委陵菜基株高度影响显著。从图2,a可以看到,从3200和3400 m移往各海拔的样方内,基株高度在3400 m处均最大,平均分别为10.21和7.61 cm,在3800 m处均最小,平均分别为5.96和4.38 cm;2个高度移栽以后发现,移栽到海拔3200和3800 m,3400和3600 m,3400和3800 m之间差异显著,其他海拔之间差异不显著。从3200 m移往各海拔的基株高度均高于从3400 m移往各相应海拔的基株高度。

图2,b显示,从3200 m移栽到3800 m的鹅绒委陵菜分株叶片数目显著高于移至其他各个海拔的叶数,而其他3个海拔之间差异不显著,并在3400 m处相对最少;而从3400 m移栽到各海拔的分株叶片数目间均差异不显著,并同样在3400 m处相对最少。

表 1 3 200 和 3 400 m 移至不同海拔具不同匍匐茎数量的鹅绒委陵菜分株数

Table 1 The number of *P. anserina* ramet with different stolon numbers at different altitudes transplanted from 3 200 m and 3 400 m

分组 Group	匍匐茎数 Stolon number	分株数 The number of ramet			
		3 200 m	3 400 m	3 600 m	3 800 m
3 200 m	0	4	2	—	—
	1	5	4	4	1
	2	—	1	3	6
	3	—	1	1	—
	4	—	—	1	2
3 400 m	0	3	5	1	—
	1	2	2	5	7
	2	4	1	1	2
	3	—	1	2	—
	4	—	—	—	—

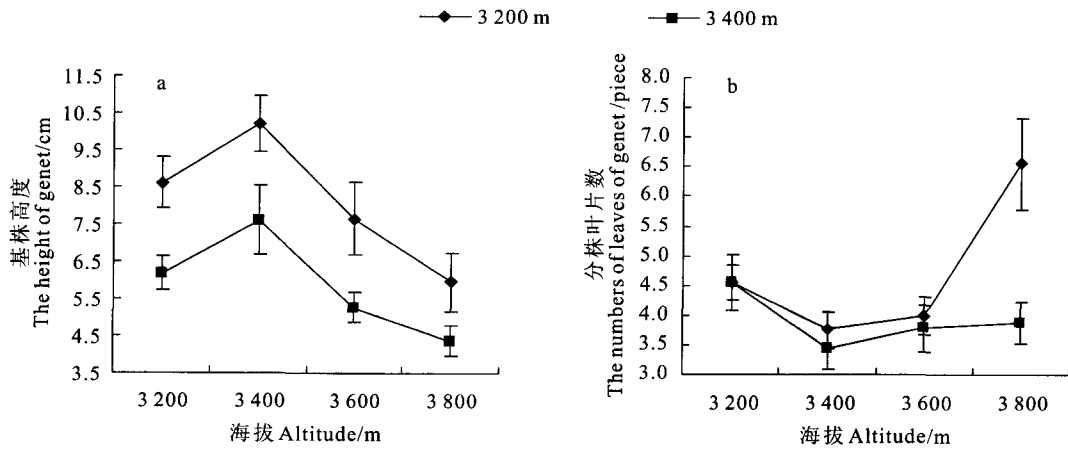


图 2 从 3 200 和 3 400 m 移栽至不同海拔高度的分株高度和分株叶片数的变化特征

Fig. 2 The changes of plant height and leaf numbers of *P. anserina* ramet at different altitudes transplanted from 3 200 m and 3 400 m

表 2 移栽植被鹅绒委陵菜间隔子长度、数目和匍匐茎长度随海拔高度的变化

Table 2 The changes in the number of spacer, spacer length and stolon length with different altitude transplanted from 3 200 m and 3 400 m

分组 Group	匍匐茎条数 Stolon number	间隔子长度 Spacer length/cm				间隔子数目 Spacer number				匍匐茎长度 Stolon length/cm			
		3 200 m	3 400 m	3 600 m	3 800 m	3 200 m	3 400 m	3 600 m	3 800 m	3 200 m	3 400 m	3 600 m	3 800 m
3 200 m	1	5.10	5.18	4.21	3.88	5.40	5.75	5.00	4.00	27.54	29.80	21.07	15.50
	2		8.02	4.59	3.77		5.00	4.13	4.83		40.10	18.95	18.20
	3		5.09	4.33			3.67	5.33			18.67	23.07	
	4			4.94	4.61			5.00	4.13			24.70	19.00
	平均 Mean		5.10	5.64	4.43	3.89	5.40	5.28	4.75	4.64	27.54	29.66	20.99
3 400 m	1	4.73	5.22	3.17	4.06	4.00	4.67	3.80	2.86	18.90	24.37	12.06	11.60
	2	3.60		3.15	3.80	5.50		3.00	4.00	19.79		9.45	15.20
	3		4.77	3.37			4.00	4.17			17.90	14.05	
	4		4.63				3.75				17.38		
	平均 Mean		3.98	4.96	3.22	4.00	5.00	4.27	3.79	3.11	19.49	21.01	12.23

2.4 移栽植被鹅绒委陵菜克隆间隔子长度与数量的形态特征

委陵菜匍匐茎长度为各间隔子的长度之和。间隔子是连接分株,即摄食位点(feeding sites)之间的匍匐茎,间隔子的长度不仅影响分株在空间上的放置格局,而且也是资源获取过程的重要形态学性状之一。由调查可知(表2),从3 200和3 400 m移栽到各海拔高度后,鹅绒委陵菜匍匐茎长度在3 400 m处最大,在3 800 m处最小,随海拔高度增加表现出先增加后减少的趋势。从3 200 m移往各海拔后,委陵菜间隔子长度随海拔高度增加表现出先增加后减少趋势,也在3 400 m处最大,在3 800 m处最小;从3 400 m植被移往各海拔后,间隔子长度随海拔高度增加却表现出先增加后减小然后再增加的过程,并在3 400 m处间隔子长度最大,3 600 m处最小。

3 讨论

群落的种群组成、数量、盖度及其生境特征影响着鹅绒委陵菜无性系的克隆生长行为和无性系的形态特性。移栽后鹅绒委陵菜分株高度的变化与群落类型、海拔和土壤养分变化密切相关。在本研究中,3 200 m是矮嵩草草甸,3 400 m是金露梅灌丛草甸,3 400 m以上又是低矮的草本群落。不同群落生境中植物的竞争,特别是对光资源的竞争强度不同,明显影响着分株的高度变化。而竞争是塑造植物形态、生活史的主要动力之一^[19]。在金露梅灌丛中,鹅绒委陵菜若想获得足够的光资源,必须增加分株高度;而在草本群落中,特别是3 400 m以上的高海拔地带,禾本科、莎草科植物平均高度和密度都较低,鹅绒委陵菜分株不需要增加高度也能获得充足的光资源。加之随海拔升高,温度降低,风速增大,也影响植物的株高生长。另外,在本研究区,土壤有机质和全氮随海拔升高的变化趋势是先减少、再增加、再减少,在3 800 m最低,3 600 m最高^[20],这与移地植被中鹅绒委陵菜分株高度(图2)变化趋势基

本相一致,表明土壤养分也是塑造植物形态的重要因素^[7]。

从3 200 m和3 400 m移到各海拔高度后,鹅绒委陵菜匍匐茎长度在3 400 m最大,3 800 m的最小。出现这种变化的原因可能是由于3 400 m处土壤的养分含量比较低,又是金露梅灌丛,植物为了同时争夺养分资源和光资源,在增加高度的同时也增加匍匐茎长度;而3 800 m处于植物生长的上限,气候环境恶劣,温度很低(图1),植物生长期明显缩短,环境胁迫压力大,移栽后的鹅绒委陵菜将尽量缩短匍匐茎和间隔子长度,同时尽量产生不定芽,增加分株,以增加在该生境中的保存力。而在3 400 m的金露梅灌丛高竞争环境中,增加间隔子能有效避开其他物种的遮荫,同时通过增加株高来获得充足的光照。

克隆分株种群特征(尤其是种群密度和分株间距离及其在不同生境中的变化)能反映和指示植物的生态适应对策。从3 200 m移往各海拔的鹅绒委陵菜分株数沿海拔的升高逐渐增加,这与克隆植物在富营养生境条件下分株间隔子变短,分株密度增大^[21]的觅食行为有些不同,3 800 m处资源水平虽然较低,但竞争水平也相对较低,环境更加恶劣,增加分株数可以使该种群得以长期维持。

随海拔的升高,移地植被鹅绒委陵菜匍匐茎数量是逐渐增加的,母株的匍匐茎越多,产生的子株越多,这与气温随海拔增加而逐渐降低有关,有利于鹅绒委陵菜在高海拔恶劣的环境中占据大的生境面积,提高在植物群落中的竞争能力。也就是说随着海拔的升高,其分配给克隆繁殖方面的比例是增加的,有利于物种在较为恶劣的环境下繁衍后代,保证物种的生存。

当然,本次试验仅是在植被移栽一年以后(移地后第二年)进行观测的结果,要获得有关高寒草甸鹅绒委陵菜克隆生长对气候变化的响应以及气候变暖长期效应后的特征,还有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] GRABHERR G, GOTTFRIED M, PAULI H. Climate effects on mountain plants[J]. *Nature*, 1994, 369: 448-450.
- [2] KORMER. Response of alpine vegetation to global climate change. In international conference on landscape ecological impact of climate change[M]. Lunteren: The Netherlands, Catenaverlag. Supplement. 1992, 22: 85-96.
- [3] JERRY M, MELILLO, A. DAVID MCGUIRE, DAVID W. KICKLIGHTER, et. al. Global climate change and terrestrial net primary production[J]. *Nature*, 1993, 363(20): 234-240.

- [4] YANGQING ZHANG, JEFFERY M. WELPKER. Tibetan alpine tundra response to simulated change sinclimate; above ground biomass and community responses[J]. *Arctic and Alpine Research*, 1996, **128**(2): 203-209.
- [5] 赵国强. 我国北方典型生态区气候变化对农田、森林和草地生态的影响研究[D]. 南京: 南京信息工程大学博士论文, 2008: 5.
- [6] AISOS I G, EIDSEEN P B, EHRICH D, et al. Frequent long-distance plant colonization in the changing arctic[J]. *Science*, 2007, **316**: 1 606-1 609.
- [7] ZHOU H K(周华坤), ZHOU X M(周兴民), ZHOU L(周立). The clonal growing characteristic in the stoloniferous herb, *Potentilla anserina*[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2002, **22**(1): 9-17(in Chinese).
- [8] SHEN ZH X(沈振西), CHEN Z ZH(陈佐忠), WANG Y H(王彦辉), et al. Clonal growth of stoloniferous herb *Potentilla anserina* on degraded and non-degraded soil[J]. *Chin. J. Appl. Ecol.* (应用生态学报), 2003, **14**(8): 1 332-1 336(in Chinese).
- [9] LI J Q(李军乔), WANG L X(王立祥). Elementary study on the biological characteristic of *Potentilla anserina* L. [J]. *Jour. of Northwest Sci-Tech Univ. of Agri. and For.* (Nat. Sci. Ed) (西北农林科技大学学报·自然科学版), 2003, **31**(3): 190-192(in Chinese).
- [10] RAUTIAINEN P, KOVIVULA K, HYVARINEN M. The effect of within-genet and between-genet competition on sexual reproduction and vegetative spread in *Potentilla anserina* ssp. *egedii*[J]. *Journal of Ecology*, 2004, **92**(3): 505-511.
- [11] STUEFER J F, HUBER H. Differential effects of light quantity and spectral light quality on growth, morphology and development of two stoloniferous *Potentilla* species[J]. *Oecologia*, 1998, **117**(1-2): 1-8.
- [12] ZHOU H K(周华坤), ZHAO X Q(赵新全), ZHOU L(周立), et al. Alpine meadow degradation alter the clonal growing characteristics of *Potentilla anserina*[J]. *Acta Ecol. Sin.* (生态学报), 2006, **26**(2): 508-520(in Chinese).
- [13] SHENG H Y(盛海彦), LI J Q(李军乔), YANG Y ZH(杨银柱), et al. Esponse of phenotypic plasticity of *Potentilla anserina* L. to soil moisture[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2004, **22**(3): 119-122(in Chinese).
- [14] ZHOU H K(周华坤), ZHOU X M(周兴民), et al. The comparison of morphological character of *Potentilla anserina* in two habitats[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2002, **22**(6): 1 406-1 414(in Chinese).
- [15] ZHOU H K(周华坤), ZHAO X Q(赵新全), ZHOU L(周立), et al. effects of different grazing intensities on growth of *Potentilla anserina* clones[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2006, **26**(5): 1 021-1 029(in Chinese).
- [16] ZHOU H K(周华坤), ZHOU L(周立), ZHAO X Q(赵新全), et al. Influcnce of grazing disturbance on alpine rangeland[J]. *Grassl. China* (中国草地), 2002, **24**(5): 53-61(in Chinese).
- [17] LI Y N(李英年), HAO X Q(赵新全), CAO G M(曹广民), et al. Analyses on climates and vegetation productivity background at Haibei Alpine Meadow Ecosystem Research Station[J]. *Plateau Meteorology* (高原气象), 2004, **23**(4): 558-566(in Chinese).
- [18] 杨福囤, 沙渠, 张松林. 青海高原海北高寒灌丛和高寒草甸初级生产量[A]. 夏武平. 寒草甸生态系统[C]. 兰州: 甘肃人民出版社, 1982: 44-51.
- [19] LI B(李博), CHEN J K(陈家宽), WOFLDN SON A R. A literature review on plant competion[J]. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 1998, (4): 1-11(in Chinese).
- [20] XUE X J(薛晓娟), LI Y N(李英年), DU M Y(杜明远), et al. Distribution characteristics of soil organic matter and total nitrogen on the southern foot of east of Qilian Mountains[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology* (冰川冻土), 2009, **31**(4): 642-649(in Chinese).
- [21] DONG M(董鸣). Plant clonal growth in relation to resource heterogeneity; Foraging behavior[J]. *Acta Bot. Sin.* (植物学报), 1996, **38**(10): 828-835(in Chinese).