

doi: 10.3969/j.issn.0490-6756.2018.05.033

柠条锦鸡儿细根生长与游离脯氨酸含量关系研究

赵文昊, 姚云峰, 郭月峰

(内蒙古农业大学沙漠治理学院, 呼和浩特 010010)

摘要: 研究区位于内蒙古敖汉旗黄花甸子流域, 在 10a 生柠条锦鸡儿人工林中分别选取了坡上和坡下样本 5 丛。通过四分之一圆法采集根系, 并将标准丛根系按细根、中根、骨骼根进行划分, 并测定长度及游离氨基酸含量。通过比较分析不同土壤含水率条件下的各径级根的长度差异, 两样地中各径级根中游离氨基酸含量相关性。得出游离脯氨酸含量百分比在不同土壤含水率条件下变化趋势, 和游离氨基酸平均含量与根长的相关趋势。结果表明: (1) 细根长度和游离脯氨酸含量均与土壤含水率呈负相关关系。 (2) 游离脯氨酸含量与根系新生细根存在正相关关系。 (3) 两样地中各径级根之间游离氨基酸含量具有显著相关性, 相关系数均在 0.980~0.997 之间。 (4) 游离脯氨酸平均含量与细根比表面积存在正相关关系, 且 $R^2=0.9371$ 。研究证明游离脯氨酸对植物对抗干旱胁迫的重要作用, 为柠条锦鸡儿复壮和内蒙古农牧交错带植被恢复提供科学依据。

关键词: 柠条锦鸡儿; 根长; 游离脯氨酸; 土壤含水率; 干旱胁迫

中图分类号: S793.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0490-6756(2018)05-1121-06

Relationship between shape of *Caragana's* root and free proline

ZHAO Wen-Hao, YAO Yun-Feng, GUO Yue-Feng

(College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010010, China)

Abstract: The study area was located in the Huanghuaidian sub-basin of Aohanqi, Inner Mongolia, and 5 clusters of samples were selected in the ten-year-old *Caragana korshinskii* plantation, on the slope and the slope. The roots were collected by a quarter circle method, and the standard plexus root system was divided into fine root, middle root and bone root. The length and the content of free amino acid were measured. By comparing the differences in the length of each root of the different soil moisture content, the content of free amino acids in the roots of the two species was compared and analyzed. The trend of free amino acid and free proline in different soil water content and the trend of free amino acid average content and root length were obtained. The results show: (1) The length and free proline content of the major organs were negatively correlated with soil water content. (2) There was a positive correlation between the free proline content and the root system. (3) The correlation coefficients of free amino acid content between the two groups were between 0.980 and 0.997, and the correlation was significant. (4) There was a positive correlation between the average content of free proline and the specific surface area of fine roots and $R^2=0.9371$. It is proved that free proline plays an important role in plant resistance to

收稿日期: 2017-07-17

基金项目: 国家自然科学基金(31500584); 高等学校科学研究项目(NJZZ16055); 内蒙古应用研究与开发计划项目(20110732); 内蒙古自然科学基金(2016MS0407); 内蒙古自治区高等学校青年科技英才支持计划(NJYT-17-B19)

作者简介: 赵文昊(1993-), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士, 研究方向水土保持与荒漠化防治. E-mail: ZhaoWenhao4216@163.com

通讯作者: 郭月峰. E-mail: guoyuefeng0525@126.com

drought stress and provides scientific basis for vegetation restoration of *Caragana korshinskii* and the interlaced zone of agriculture and grazing in Inner Mongolia.

Keywords: *Caragana korshinskii*; Root morphology; Free amino acid; Soil moisture content; Drought stress

1 引言

植物根系的生长形态和营养组成体现了土壤环境的优劣和营养供给能力^[1],土壤环境首先影响根系生长,其次影响根对土壤养分的吸收利用效率,进而影响植株地上部分的生长发育.根系的主要作用是固着植株和感知土壤环境变化,根系既是水分和养分吸收的主要器官,又是多种激素、有机酸和氨基酸合成的重要场所,其形态和生理对地上部分的生长发育、生理形态均有重要作用.但根系作为植株“隐藏”的一半,相较于地上部分,目前对根系生长与各类游离氨基酸含量之间的关系的研究较少.张海娜等人^[2]研究发现,游离氨基酸对根系影响大于对茎叶的影响;张金林^[3]等人的研究初步探明了总游离氨基酸增加的机理在于维持上部位点组织当中的低水势,有利于水分的输送,同时也是干旱胁迫下植物贮存物质和能量的一种形式.以上表明根中较高的游离氨基酸含量为生长期的植株快速合成其地上组织和实现生物量积累提供了较好的物质条件.

柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii* Kom.) (以下简称柠条)属于锦鸡儿属,是典型的旱生落叶灌木树种,常见自然分布于内蒙古鄂尔多斯高原西部以西地区.人工种植于黄花甸子流域及干旱半干旱地区.柠条具有耐寒、抗风沙,根系发达,高固土保水能力的特性^[4],能够耐受较长期、较严重的水分亏缺,旱生结构的生理特点明显^[5].根据刘佳琼等^[6,7]的研究柠条作为少浆旱生植物具有表面积/体积比值小、栅栏组织/海绵组织比值大、气孔小而数目多、表皮毛浓密和输导组织发达的特征.柠条有庞大的根系,分别向水平和垂直方向发展,水平根随树龄增长有增大趋势^[8].研究发现细根是水分和养分吸收的主体,骨骼根比例的增加主要作为拓展吸收空间以弥补不定根在数量和长度上的限制^[9-11].

单位土体内的根长度是表明根吸收功能的最好指标^[12],在相同气候环境、不同干旱条件下,游离脯氨酸的合成对柠条根系中细根的生长发育起到重要作用,其主要作用机理为较早条件下,游离脯氨酸作为一种重要的调节渗透的物质^[13-16]在新

生细根生成的过程中,游离脯氨酸含量随土壤含水率水的降低有较为显著的升高,即在水分胁迫条件下根系大量合成游离氨基酸作为对抗干旱胁迫的主要物质,少浆旱生植物将大量积累游离脯氨酸作为适应干旱荒漠生境的重要机制^[17,18].因此,根系与游离脯氨酸组成及含量之间的关系,具有较高的研究价值,对进一步研究柠条生理形态有重要意义^[19].

2 研究区概况与研究方法

2.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区赤峰市敖汉旗西部的黄花甸子流域.地处 42°17'N ~42°33'N,119°36'E~119°53'E,位于老哈河中游南岸,科尔沁沙地南缘,面积约为 30 km².流域内总体属于低山丘陵区,地势起伏不大,海拔 400~800m,属于中温带半干旱大陆性季风气候区.年降雨量 400~470 mm,年均蒸发量 2290~2400mm.全年日照数 2940~3060h,10℃以上积温为 3189℃.春季风力大持续时间较长,年平均风速 4~6 m/s.土壤类型大部分为栗钙土,伴随着少量的风沙土,pH 值呈弱碱性到碱性.该流域主要以人工植被为主.人工植被以水土保持林和防风固沙林为主要类型,主要造林树种为小叶杨(*Populus Simonyi*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、山杏(*Armeniaca sibirica*)和柠条(*Caragana korshinskii* Kom.)等.

2.2 研究方法

(1) 调查取样

于 2015 和 2016 年 8 月,对不同坡位、其他立地条件基本相同的 10a 生密度为 2 m×4 m 的柠条人工林作为标准地,坡上为一号标准地坡下为二号标准地,两块标准地大小均为 20 m×20 m.分别于每块标准地选择 5 丛标准丛进行取样测定.

以标准株基部为圆心,沿坡长方向按四分之一圆法取样,半径为 200 cm,水平和垂直方向均按 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120、120~140、140~160、160~180、180~200 cm 分层取样,将水平方向和垂直方向各层所有根全部拣拾干净,并用游标卡尺测量各径级根系,将径级分为 <2 mm(细根)、2~10 mm(中根)及 10~

15 mm(骨骼根)三级,分别装袋带回室内. 过孔径为 0.1 mm 的筛筐后,仔细把根上附着的泥土冲洗干净. 并根据根系外形、颜色、弹性及根皮与中柱分离的难易程度来区分活根、死根,然后用 EPSON10000XL 进行扫描并用 WinRHIZO 根系分析系统分析各层细根长度. 利用环刀法在每层取出土样,带回室内实验室用烘干法测定土壤含水率,并统计平均含水率. 同时对各层各径级根系进行根系游离氨基酸含量的测定.

游离氨基酸含量的测定方法:称取样品 0.8 g,冰浴研磨后加入 10 mL 4% 磺基水杨酸浸提,用 10000 r/min 高速离心机离心,取上清液,在日立 835-50 型氨基酸自动分析仪上测定游离氨基酸. 样品中各组分氨基酸以 mg/100g 干重表示^[20].

表 1 两标准地土壤含水率的独立检验

Tab. 1 The independent test of soil moisture content between the two place

假设方差	F	Sig	t	df	Sig(双侧)	均值差值	标准误差值		置信区间 (差分 95%)
							上限	下限	
相等	5.725	.026	-3.193	20	.005	-0.0723	.002227	-.01196	-.00251
不相等			-3.193	14.541	.006	-0.0723	.00227	-.01208	-.00239

受到坡位、坡度等地形条件和不同植被的蒸发力影响^[22],二号标准地土壤含水率高于一号标准地. 表现为一号标准地含水率 3.63%,二号标准地含水率 4.36%,二号标准地比一号标准地含水率高 0.73%,因此一号标准地总体呈现略旱的状态.

3.2 一号标准地各径级细根游离氨基酸含量变化

折线图表示游离氨基酸总量和游离脯氨酸在不同径级根中的各自平均含量单位(mg/mm).

测得一号标准地中细根中游离氨基酸平均总量为 581.777 mg/g,其中游离脯氨酸含量占 52%;中根中游离氨基酸平均总量为 717.568 mg/g,游离脯氨酸含量占 54%;骨骼根中氨基酸平均总量为 729.458mg/g,游离脯氨酸含量占 67%;通过折线图(图 1)分析游离氨基酸含量基本呈现随径级增大而增多的规律,而游离脯氨酸含量则有增多趋势其他氨基酸变化趋势不明显,平均含量为 676.268 mg/g. 坡上标准地中 0~2 mm 细根的平均根长 708.701 cm,2~10 mm 中根平均根长 45.593 cm,10~15 mm 的骨骼根平均根长 5.521 cm,通过折线图分析根长出现随根径增大而缩短的明显趋势,即骨骼根短细根长,可以推测细根为氨基酸合成及养分吸收的主要根段类型.

(2)数据分析

实验利用 SPSS 软件分析变量间的相关性,研究根系中各种游离氨基酸与根的相关性关系,了解变量之间的密切程度,并对其关系做出定性的分析^[21]. 利用折线图描述游离氨基酸含量的变化趋势.

3 结果与分析

3.1 标准地各层土壤含水率分析

对一号标准地与二号标准地垂直土层平均含水率测定后发现存在明显差异,并对其各层土壤含水率数据进行独立样本 t 检验:对其检验结果进行分析发现其具有显著差异(表 1).

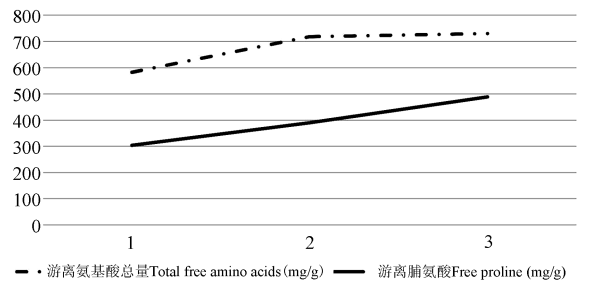


图 1 游离氨基酸与游离脯氨酸含量变化趋势对照
Fig. 1 Comparison between free proline and free amino acid

3.3 二号标准地各径级细根游离氨基酸含量变化

二号标准地中细根中游离氨基酸平均总量为 650.915 mg/g,游离脯氨酸含量占 50%;中根中游离氨基酸平均总量为 677.865 mg/g,游离脯氨酸含量占 45%;骨骼根中游离氨基酸平均总量为 799.853 mg/g,游离脯氨酸含量占 39%. 折线图(图 2)显示游离氨基酸总量亦呈现出无明显增多趋势而游离脯氨酸含量呈现出明显降低趋势其他游离氨基酸变化不明显,平均总含量为 709.544 mg/g. 坡下对照标准地中 0~2 mm 细根的平均根长 698.11 cm,2~10 mm 中根平均根长 53.65 cm,10~15 mm 的骨骼根平均根长 5.92 cm,通过折线图分析根长出现随根径增大而

缩短的明显趋势,同样呈现出细根长骨骼根短.

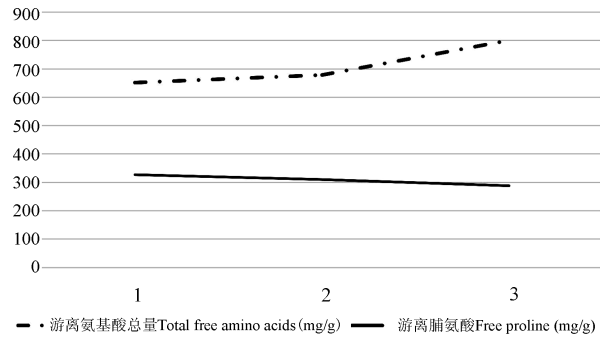


图 2 游离氨基酸与游离脯氨酸含量变化趋势对照
Fig. 2 Comparison between free proline and free amino acid

3.4 两标准地各径级根长差异对照与分析

两标准地柠条根系对照发现根长存在显著差异(表 2):根径为 0~2 mm 的细根总长度坡上比坡下多 130.59 cm,根径为 2~10 mm 的中根总长度坡下比坡上多 8.06 cm,根径为 10~15 mm 的骨骼根总长度坡下比坡上多 0.40 cm.

表 2 两标准地根长差异

Tab. 2 The different of length of root between the two places

	0<. L. <= 2. 0000000(cm)	2. 0000000<. L. <= 10. 0000000(cm)	. L. >10. 0000000
1 号	828. 701081	45. 592686	5. 520838
2 号	698. 11123	53. 651051	5. 924636

3.5 两标准地各径级根游离氨基酸含量相关性分析

首先实验对一号标准地中 3 种不同根径级的相同种类的单位表面积条件下 17 种氨基酸含量进行了相关性分析得出结果:

细根与中根、中根与骨骼根、骨骼根与细根 3 组根系中氨基酸含量相比较的显著性概率值 Sig< 0. 01,说明细根与中根、中根与骨骼根、骨骼根与细根间的氨基酸含量存在显著相关性.

径级为 0~2mm 的细根与径级为 2~10mm 的中根氨基酸含量相关系数为 0. 996;径级为 2~10mm 的中根与径级为 10~15mm 的骨骼根氨基酸含量相关系数为 0. 991;径级为 10~15mm 的骨

骼根与径级为 0~2mm 的细根氨基酸含量相关系数为 0. 980. 并且通过了 0. 01 的显著性检验水平.

表 3 1 号地各级根游离氨基酸含量相关性

Tab. 3 Correlation of different levels of root' free amino acid on Sample 1

		细根	中根	骨骼根
细根	Pearson 相关性	1	. 996 **	. 980 **
	显著性(双侧)		. 000	. 000
中根	Pearson 相关性	. 996 **	1	. 991 **
	显著性(双侧)	. 000		. 000
骨骼根	Pearson 相关性	. 980 **	. 991 **	1
	显著性(双侧)	. 000	. 000	

注: ** 表示 0. 01 水平上显著相关

接着实验又对二号对照标准地中 3 种不同根径级的相同种类的单位表面积条件下 17 种氨基酸含量进行了相关性分析(表 4),并得出结论:

细根与中根、中根与骨骼根、骨骼根与细根 3 组根系中氨基酸含量相比较的显著性概率值 Sig< 0. 01,并且有(**)显著相关的标识,说明细根与中根、中根与骨骼根、骨骼根与细根间的氨基酸含量存在显著相关性.

径级为 0~2 mm 的细根与径级为 2~10 mm 的中根氨基酸含量相关系数为 0. 997;径级为 2~10 mm 的中根与径级为 10~15 mm 的骨骼根氨基酸含量相关系数为 0. 989;径级为 10~15 mm 的骨骼根与径级为 0~2 mm 的细根氨基酸含量相关系数为 0. 984. 以上均通过了 0. 01 的显著性检验水平.

通过对各径级单位表面积根中氨基酸含量的相关分析表明:各径级根中所含氨基酸含量的变化与根表面积相关.

3.6 游离脯氨酸含量与根的比表面积相关性分析

成向荣等^[23]通过对刺槐根系各项特征值进行研究,证实与土壤含水率的分布特征最为吻合的为刺槐细根表面积密度. 由根系中各径级根游离脯氨酸的平均总含量与根的比表面积做线性方程,以游离脯氨酸做自变量,根系比表面积做因变量,并得出游离脯氨酸平均含量与根系吸收能力之间的相关趋势(图 3).

表 4 2 号地各级根游离氨基酸含量相关性

Tab. 4 Correlation of different levels of root' free amino acid on Sample 2

		细根	中根	骨骼根
细根	Pearson 相关性	1	.997 **	.984 **
	显著性(双侧)		.000	.000
中根	Pearson 相关性	.997 **	1	.989 **
	显著性(双侧)	.000		.000
骨骼根	Pearson 相关性	.984 **	.989 **	1
	显著性(双侧)	.000	.000	

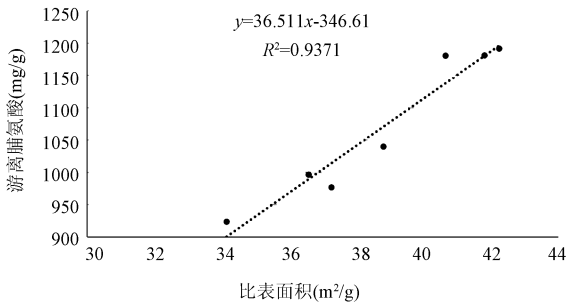


图 3 游离脯氨酸平均含量与根比表面积相关分析

Fig. 3 Relationship between free proline average content and Absorption rate of root

4 讨论

在对各根级以及不同土壤含水率条件下的柠条根系游离氨基酸含量相关性分析后得到了如下结论:粗中细根的游离氨基酸含量相关度基本一致,存在高相关度.而游离脯氨酸含量明显存在随土壤含水率增加而降低的趋势.

同一林龄柠条锦鸡儿在同一立地条件下随含水率的降低细根生长量出现明显增多,不同含水率柠条锦鸡儿各部位游离氨基酸含量差异较为明显,随坡位增高所含游离脯氨酸含量越高.尤其在土壤含水率条件下游离脯氨酸的含量比低土壤含水率条件下游离脯氨酸的含量相对较低,结合两样地样本生长状况相近,对植物对抗干旱胁迫有利.印证了游离脯氨酸对根系主要影响主要体现在对土壤含水率的适应上.并且,柠条生长过程中不同坡位根部氨基酸含量略有差异,但作为直接影响其适应干旱胁迫的生理形态是根系中细根的根长,在对数据的相关分析中发现,在干旱胁迫的条件下细根根长有明显增长,同时细根中游离脯氨酸的含量高于中根和骨骼根中的比例,在细根生长中起到主要作用,同时粗略地研究了其含量与其土壤含水率间是否存在相关关系,结果表明,细根中的游离脯氨

酸含量与土壤含水率呈负相关.

对比不同径级不同坡位的根中相同种类的游离氨基酸含量呈高度正相关,游离脯氨酸的含量随坡位降低土壤含水率的升高而呈现出下降趋势.根长中变化趋势最明显的是 0~2 mm 根径的细根呈现出随含水率增加而变短的趋势.可见,随着植株位点的上升,游离脯氨酸的大量积累是少浆旱生植物适应干旱荒漠生境的一种重要机制^[24],且与土壤含水率呈现负相关的趋势.且细根长与含水率亦呈现负相关的趋势.推测,根系中脯氨酸含量和细根长的变化主要受到土壤含水率的影响.主要表现为含水率增高游离脯氨酸含量和细根长度的下降.在根系比表面积与游离脯氨酸含量相关性分析中,得出结论游离脯氨酸含量随根系比表面积呈现线性相关的趋势,并得出线性关系式 $y = 36.511x - 346.61$.由此可知,随含水率降低,细根的比表面积有增大趋势.

5 结论

(1)同一林龄柠条锦鸡儿随土壤含水率逐渐减少,使得干旱条件下的柠条根系中细根占比例高于中根和骨骼根,其所含游离脯氨酸的上升比例同样高于其他两种.

(2)各级根中游离脯氨酸的增长速率高于其他各类游离氨基酸,干旱条件下尤为显著.

(3)各径级根系中所含游离脯氨酸含量与根系新生细根存在正相关关系

(4)细根在柠条锦鸡儿对干旱胁迫的适应和调节起到重要作用.

(5)游离脯氨酸在植物适应干旱环境并生存起重要作用.

(6)柠条根系游离脯氨酸促进细根生长并使其比表面积增大并以此对抗干旱胁迫.

参考文献:

[1] 朱元龙,王桑,林永刚,等.黄土高原丘陵区柠条根系生长发育特性研究[J].水土保持通报,2011,31:232.

[2] 张海娜,方向文,蒋志荣,等.柠条平茬处理后不同组织游离氨基酸含量[J].生态学报,2011,31:2454.

[3] 张金林,陈托兄,王锁民.阿拉善荒漠区几种抗旱植物游离氨基酸和游离脯氨酸的分布特征[J].中国沙漠,2004(04):115.

[4] 秦晴.晋西北中幼龄柠条人工林细根寿命估计[D].

- 太原: 山西大学, 2015.
- [5] 程杰, 刘永辉, 田瑛. 宁夏半干旱区柠条锦鸡儿灌木林生长特征[J]. 水土保持通报, 2016, 36: 332.
- [6] 刘家琼, 黎志坚, 蒲锦春, 等. 我国沙漠中部地区主要不同生态类型植物脯氨酸的累积、光合、呼吸和叶绿素含量[J]. 植物生理学报, 1988(01): 85.
- [7] 刘家琼, 蒲锦春, 刘新民. 我国沙漠中部地区主要不同生态类型植物的水分关系和旱生结构比较研究[J]. 植物生理学报, 1987(06): 662.
- [8] 刘丽娜. 水曲柳根系级数和序级结构特性分析[J]. 山西林业科技, 2015, 44: 18.
- [9] 顾东祥, 汤亮, 徐其军, 等. 水氮处理下不同品种水稻根系生长分布特征[J]. 植物生态学报, 2011, 35: 558.
- [10] 李洪波. 植物响应养分空间异质性分布的动态过程及调控根系获取养分的策略研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [11] 朱雅娟, 贾志清, 薛海霞. 高寒沙地 2 种锦鸡儿的根系分布[J]. 西北林学院学报, 2016, 31: 120.
- [12] De D S, Forster B, Pagès L, *et al.* Root system architecture: opportunities and constraints for genetic improvement of crops [J]. Trends Plant Sci, 2007, 12: 474.
- [13] Rains D W, Valentine R C, Hollaender A. Panel Discussion on Molecular Biology of Osmoregulation by Microorganisms [M]. New York: Springer US, 1980.
- [14] Hu C A A, Delauney A J. A Bifunctional Enzyme ($\Delta 1$ -Pyrroline-5-Carboxylate Synthetase) Catalyzes the First Two Steps in Proline Biosynthesis in Plants [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 1992, 89: 9354.
- [15] Madan S, Nainawatee H S, Jain S, *et al.* Leaf position-dependent changes in proline, pyrroline-5-carboxylate reductase activity and water relations under salt-stress in genetically stable salt-tolerant somaclones of *Bras sica juncea* L. [J]. Plant Soil, 1994, 163: 151.
- [16] Yoshida Y, Kiyosue T, Nakashima K, *et al.* Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress [J]. Plant Cell Physiology, 1997, 38: 1095.
- [17] 刘龙, 姚云峰, 郭月峰, 等. 农牧交错带柠条锦鸡儿根系与土壤水分空间关系研究[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19: 101.
- [18] 闫兴富, 周立彪, 思彬彬, 等. 不同温度下 PEG-6000 模拟干旱对柠条锦鸡儿种子萌发的胁迫效应[J]. 生态学报, 2016, 36: 1989.
- [19] 梁胜发, 茹豪, 雍鹏, 等. 晋西北黄土丘陵区柠条锦鸡儿根系分布特征[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44: 24.
- [20] 李龙, 姚云峰, 秦富仓, 等. 黄花甸子流域人工林土壤有机碳密度分布特征[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2016, 44: 77.
- [21] 孙逸敏. 利用 SPSS 软件分析变量间的相关性[J]. 新疆教育学院学报, 2007(02): 120.
- [22] 王彦辉. 在不同植被类型条件下陇东地区雨季土壤水分的消退规律 [J]. 水土保持学报, 1989(02): 81.
- [23] 赵忠, 成向荣, 薛文鹏, 等. 黄土高原不同水分生态区刺槐细根垂直分布的差异 [J]. 林业科学, 2006(11): 1.
- [24] 王佳佳. 水分梯度下柠条锦鸡儿叶功能属性的干旱适应性研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2015.

引用本文格式:

中文: 赵文昊, 姚云峰, 郭月峰. 柠条锦鸡儿细根生长与游离脯氨酸含量关系研究[J]. 四川大学学报: 自然科学版, 2018, 55: 1121.

英文: Zhao W H, Yao Y F, Guo Y F. Relationship between shape of *Cartagana's* root and free proline [J]. J Sichuan Univ: Nat Sci Ed, 2018, 55: 1121.