

# 不同生育时期鹰嘴紫云英根系数量特征及固土能力研究

于美玲,陈金龙,赵炳森,李凡,贾新风,马晖玲

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

**摘要:**为了探究鹰嘴紫云英(*Astragalus cicer*)根系在贫瘠土壤条件下的发育情况,测定了不同发育时期的根系数量特征,包括根系表面积、体积、分枝数、累计根长、累计根表面积、累计根体积及不同时期的侧根分级和根干重,结果表明:贫瘠土壤条件下,鹰嘴紫云英侧根错综复杂,呈网状分布;苗期Ⅰ级侧根占根系比例最高,成熟期最低,所占比例分别为52.8%、14.93%;而Ⅱ级侧根占根系比例呈先增加后减少,在分枝期到达最大值,为66.43%;成熟期Ⅲ级侧根占根系比例最高,苗期最低,所占比例分别为47.9%、12.1%。同一生育时期各级侧根间均存在显著差异。从整个生育期来看,在分枝期根系生长发育最为活跃。苗期代表根径级为0~1 mm,分枝期、开花期、结荚期和成熟期代表根径级为0~1.5 mm。同时,随着生育时期的推进,根系的固土能力逐步增强。综上表明,鹰嘴紫云英在贫瘠土壤条件下根系的发育能力较强,分枝期整株根干重最高,且在土壤中主要以径级为0~1.5 mm的细根为主,可为防止水土流失的适宜材料。

**关键词:**鹰嘴紫云英;根系;数量特征;固土能力

**中图分类号:**S541 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)05-0091-07

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyycp.2020.05.013

根系是植物的组成部分,为植物提供生长所需的营养物质,是植物与土壤间沟通的桥梁。侧根作为根系的重要组成部分,不仅为植物吸收养分和水分,而且起到固定植物的作用。研究发现,植物根系大量的侧根具有防止水土流失的作用<sup>[1-2]</sup>。近年来随着对根系研究方法的不断深入,对根系形态与固土性能的研究也越来越多<sup>[3-4]</sup>。其中方便等<sup>[5]</sup>研究白三叶不同含根量的根土复合体的抗剪切强度,发现白三叶根系能够增加土体的抗剪强度。杨璞等<sup>[6]</sup>通过模型和试验数据表明根系对土体有加固作用。胡夏嵩等<sup>[7]</sup>研究垂穗披

碱草根系的力学强度时发现根系抗拉能力与根系表面积呈线性函数关系,根系数量越多,根越长,根系分布越广,固土的效果就越好,即根系数量特征和结构特征对植物根系固土有重要影响<sup>[8]</sup>。

鹰嘴紫云英(*Astragalus cicer*),又名鹰嘴黄芪,是豆科黄芪属多年生草本植物,属于国外引入物种<sup>[9]</sup>。鹰嘴紫云英对土壤养分需求不高。对碱性土或酸性土的耐性优于苜蓿,是一种耐牧性、耐践踏性均良好的多年生豆科牧草。鹰嘴紫云英具有根茎横向匍匐、向外扩张生长的特点,也被认为是水土保持植物<sup>[10]</sup>。目前国内针对鹰嘴紫云英根系发育的研究报道较少<sup>[9]</sup>。为此,本研究以鹰嘴紫云英不同生育时期的根系为研究对象,通过对根系的直径、表面积、长度等参数及数量分布特征的测定,确定每个时期的代表根,为进一步研究鹰嘴紫云英根系生物特性和不同生育时期根系形态特征对固土性能提供基础。

**收稿日期:**2019-10-21; **修回日期:**2019-12-13

**基金项目:**国家自然科学基金(31760699)资助

**作者简介:**于美玲(1994-),女,内蒙古通辽人,在读硕士。

E-mail:2391843800@qq.com

马晖玲为通讯作者。

E-mail:mahl@gsau.edu.cn

# 1 材料和方法

## 1.1 试验区概况

试验于2019年4月初在甘肃农业大学草坪实训基地(N 36°5'25"、E 103°41'48")进行,试验区属于温带大陆性季风性气候。年均气温 9.8℃,年均降水量 330 mm,集中在7~9月。年均蒸发量 1 460 mm,无霜期 180~210 d,全年日照时数 2 424 h。试验用土为沙壤土,土壤 pH 值 8.34,有机质 49.1 mg/kg,全氮 0.625 g/kg,全磷 0.784 g/kg,全钾 12.62 g/kg,速效磷 10.93 mg/kg,速效钾 165.01 mg/kg,碱解氮 19.5 mg/kg。

## 1.2 试验材料种植及标准株选取

试验鹰嘴紫云英种植在植树袋(高度 50 cm×直径 60 cm),每一植树袋设 4~5 穴,每穴播种 3~5 粒,播种深度 3 cm。在出苗率达 80%时,进行间苗,每穴留一株幼苗。在苗期每隔 4 d 浇 1 次水,而分枝期至成熟期每隔 15 d,在早晨 7:00~8:00 浇水。分枝期至开花期需重点防治虫害。分别在苗期(6月5日)、分枝期(7月1日)、开花期(7月23日)、结荚期(8月17日)、成熟期(9月10日)挖掘鹰嘴紫云英根系。随机选择 5 袋,挖取表型和地上冠丛直径基本一致的植株,选最为接近平均值的植株作为标准株<sup>[11]</sup>,对根系数量及形态指标进行测定,并将标准株根系烘干至恒重,称其干重。

## 1.3 根系分级测定

将完整根系挖出,选取 3 株标准株,进行侧根分级,即按 I 级侧根、II 级侧根和 III 级侧根划分,将不同等级的侧根沿着底部剪下,依次记录各级侧根数量。

## 1.4 代表根的确

将整个根系用根系分析仪(EPSON EXPRESSION 10000XL)进行整体扫描(附图),得到根系表面积、体积、分枝数。代表根的确方法是将根系以 0.5 mm 为间隔进行分级<sup>[12-13]</sup>,计算每个径级的累计根长、累计根表面积、累计根体积,取 3 个值比例(%)相对较大的径级组作为各自的代表根。

## 1.5 根系固定土壤体积估算

根系固土计算公式<sup>[14]</sup>如下:

$$\text{根系包裹土体积} = 4\pi r^3 / 6$$

式中:r 为 I 级侧根的长度均值。

## 1.6 数据分析

SPSS 19.0 软件进行统计分析,采用单因素 ANOVA 对多组样本进行分析处理,Duncan's 新复极差法进行显著性方差分析;采用 Microsoft Excel 2010 进行绘图与数据处理。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同生育时期鹰嘴紫云英侧根分级的数量分布特征

随着植株生育时期的推进,根系数量也逐渐增多。鹰嘴紫云英苗期 I 级侧根占总根系数量的比例均高于其他时期,占根系总数量的 52.8%,成熟期 I 级侧根所占比例最低,仅占 14.93%。鹰嘴紫云英的 II 级侧根占总根系数量比例先上升后下降,苗期所占比例为 35.1%,分枝期为 66.43%。II 级侧根比例数大小顺序为苗期<成熟期<结荚期<开花期<分枝期。III 级侧根占总根系数量比例呈一直上升的趋势,苗期占比为 12.1%,在成熟期达到最大值,为 47.9%(表 1)。

表 1 不同生育时期侧根分级的数量分布特征

Table 1 The quantitative distribution of lateral root in different growth periods

生育时期	侧根数量/(根·株 <sup>-1</sup> )			总数/ (根·株 <sup>-1</sup> )	侧根系所占比例/%		
	I 级侧根	II 级侧根	III 级侧根		I 级侧根	II 级侧根	III 级侧根
苗期	23.33±3.55 <sup>d</sup>	18.67±8.50 <sup>e</sup>	6.67±3.51 <sup>e</sup>	50.0±9.00 <sup>e</sup>	52.80±15.50 <sup>a</sup>	35.10±10.70 <sup>c</sup>	12.1±4.80 <sup>d</sup>
分枝期	31.67±7.09 <sup>d</sup>	141.67±8.50 <sup>d</sup>	40.00±2.00 <sup>d</sup>	213.33±16.17 <sup>d</sup>	14.73±2.30 <sup>b</sup>	66.43±13.32 <sup>a</sup>	18.80±1.44 <sup>c</sup>
开花期	95.33±10.50 <sup>c</sup>	244.00±13.45 <sup>c</sup>	160.0±4.36 <sup>c</sup>	499.33±21.73 <sup>c</sup>	19.10±1.74 <sup>b</sup>	48.83±1.10 <sup>b</sup>	32.07±1.03 <sup>b</sup>
结荚期	122.00±23.00 <sup>b</sup>	308.67±37.50 <sup>b</sup>	332.00±24.0 <sup>b</sup>	762.50±84.50 <sup>b</sup>	15.87±1.25 <sup>b</sup>	40.43±4.51 <sup>bc</sup>	43.70±1.70 <sup>a</sup>
成熟期	181±8.00 <sup>a</sup>	450±25.50 <sup>a</sup>	537.33±74.81 <sup>a</sup>	1212.0±20.00 <sup>a</sup>	14.93±0.95 <sup>b</sup>	37.13±1.45 <sup>bc</sup>	47.90±0.60 <sup>a</sup>

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

苗期 I 级侧根与 II 级侧根、III 级侧根数量均差异显著( $P < 0.05$ )。其余 4 个时期的侧根分级 I、II、III 级间也均存在显著差异( $P < 0.05$ )。而不同生育时期

的各级侧根比例差异表明,苗期的 I 级侧根与其他时期存在显著差异( $P < 0.05$ ),分枝期、结荚期和成熟期差异不显著( $P > 0.05$ )。分枝期和开花期的 II 级侧根

与结荚期、成熟期和苗期存在差异( $P < 0.05$ ),分枝期与开花期存在明显的差异性( $P < 0.05$ )。其他时期差异不显著( $P > 0.05$ )。成熟期与结荚期的Ⅲ级侧根与前3个时期存在差异( $P < 0.05$ ),成熟期和结荚期差异不显著( $P > 0.05$ )。分枝期与苗期和开花期差异显著( $P < 0.05$ )。苗期与开花期差异不显著( $P > 0.05$ ) (表2)。

## 2.2 不同生育时期鹰嘴紫云英根系代表根

5个生育时期,根径为0~1.5 mm细根的累计根长占根系总长度比例分别为99.58%、95.7%、94.51%、93.85%、95.59% (表2),表明随着鹰嘴紫云英生长和根系发育,0~1.5 mm的细根长度在总根系长度中所占比重逐渐减小。苗期根直径为0~1.5 mm

细根的累计根表面积占总根系表面积比例为97.88%,分枝期79.24%,开花期72.95%,结荚期67.28%,成熟期74.66%。不同生育时期的根径0~1.5 mm细根的累计根体积占根系总体积比例,苗期为91.7%,分枝期占43.82%,开花期、结荚期和成熟期分别占29.56%、22.35%和32.8%;然而开花期、结荚期和成熟期>4 mm的根直径的累计根体积比例分别为42.46%、45.33%和36.01%,表明从开花期开始根系直径变粗,根系锚定植株的效果更加明显,粗根径所占体积比例也相应地增加。结合不同生育时期鹰嘴紫云英根系生长状况及各径级累计根长、累计根面积和累计根表面积占比,确定苗期代表根直径级为0~1 mm,分枝期、开花期、结荚期和成熟期代表根直径级为0~1.5 mm。

表2 不同生育时期累计根长、累计根表面积、累计根体积比例

Table 2 Proportion of cumulative root length, cumulative surface area and cumulative volume in different growth periods

参数	生育时期	根直径/mm										合计
		0~0.5	0.5~1	1~1.5	1.5~2	2~2.5	2.5~3	3~3.5	3.5~4	4~4.5	>4.5	
累计根长	苗期	91.97±0.89 <sup>a</sup>	6.47±0.90 <sup>c</sup>	1.14±0.26 <sup>a</sup>	0.24±0.08 <sup>d</sup>	0.12±0.07 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.05±0.05 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	100.00
	分枝期	70.16±2.88 <sup>b</sup>	20.98±2.45 <sup>a</sup>	4.56±0.95 <sup>b</sup>	1.27±0.46 <sup>bc</sup>	0.70±0.13 <sup>b</sup>	1.05±0.03 <sup>a</sup>	0.59±0.11 <sup>a</sup>	0.32±0.08 <sup>a</sup>	0.22±0.13 <sup>b</sup>	0.14±0.13 <sup>b</sup>	100.00
	开花期	69.24±1.96 <sup>b</sup>	19.66±0.51 <sup>ab</sup>	5.61±1.44 <sup>b</sup>	1.82±0.32 <sup>a</sup>	1.17±0.21 <sup>a</sup>	0.82±0.20 <sup>a</sup>	0.38±0.18 <sup>ab</sup>	0.28±0.04 <sup>a</sup>	0.26±0.10 <sup>a</sup>	0.76±0.05 <sup>a</sup>	100.00
	结荚期	72.78±0.58 <sup>b</sup>	17.14±0.20 <sup>b</sup>	3.93±0.20 <sup>b</sup>	1.57±0.25 <sup>ac</sup>	1.33±0.25 <sup>a</sup>	0.95±0.32 <sup>a</sup>	0.60±0.25 <sup>a</sup>	0.44±0.09 <sup>a</sup>	0.38±0.05 <sup>a</sup>	0.88±0.08 <sup>a</sup>	100.00
	成熟期	74.30±1.86 <sup>b</sup>	16.35±0.92 <sup>b</sup>	4.94±0.45 <sup>b</sup>	1.33±0.34 <sup>bc</sup>	0.77±0.13 <sup>a</sup>	0.86±0.11 <sup>a</sup>	0.42±0.09 <sup>b</sup>	0.24±0.08 <sup>a</sup>	0.25±0.09 <sup>a</sup>	0.53±0.11 <sup>a</sup>	100.00
累计根表面积	苗期	81.21±1.82 <sup>a</sup>	12.54±1.29 <sup>c</sup>	4.13±2.17 <sup>b</sup>	1.18±1.13 <sup>b</sup>	0.45±0.39 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.48±0.89 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>d</sup>	100.00
	分枝期	42.45±3.79 <sup>b</sup>	26.62±3.15 <sup>a</sup>	10.17±3.85 <sup>a</sup>	3.90±2.28 <sup>a</sup>	2.93±1.22 <sup>a</sup>	5.41±2.61 <sup>a</sup>	3.54±1.14 <sup>a</sup>	2.12±0.06 <sup>ab</sup>	1.64±0.93 <sup>a</sup>	1.21±0.97 <sup>cd</sup>	100.00
	开花期	39.40±2.76 <sup>b</sup>	22.52±0.24 <sup>b</sup>	11.03±5.34 <sup>a</sup>	5.15±1.30 <sup>a</sup>	4.35±1.30 <sup>a</sup>	3.75±1.92 <sup>b</sup>	2.02±0.84 <sup>a</sup>	1.72±0.37 <sup>b</sup>	1.77±0.32 <sup>a</sup>	8.30±1.16 <sup>ab</sup>	100.00
	结荚期	38.88±1.14 <sup>b</sup>	20.34±0.40 <sup>b</sup>	8.06±0.84 <sup>ab</sup>	4.60±0.89 <sup>a</sup>	5.09±1.14 <sup>a</sup>	4.34±1.82 <sup>a</sup>	3.25±1.00 <sup>a</sup>	2.73±0.32 <sup>a</sup>	2.71±0.24 <sup>a</sup>	10.01±1.30 <sup>a</sup>	100.00
	成熟期	40.80±0.55 <sup>b</sup>	22.28±0.55 <sup>b</sup>	11.58±0.89 <sup>a</sup>	4.36±0.54 <sup>a</sup>	3.34±0.00 <sup>a</sup>	4.57±0.45 <sup>a</sup>	2.68±0.55 <sup>a</sup>	1.77±0.00 <sup>ab</sup>	2.09±0.00 <sup>a</sup>	6.53±0.24 <sup>b</sup>	100.00
累计根体积	苗期	50.69±7.67 <sup>a</sup>	17.91±2.87 <sup>a</sup>	23.10±9.40 <sup>a</sup>	4.91±1.66 <sup>a</sup>	1.60±0.66 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	1.78±1.36 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>c</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	100.00
	分枝期	14.20±1.94 <sup>b</sup>	17.94±2.80 <sup>a</sup>	11.68±1.36 <sup>ab</sup>	6.03±1.56 <sup>a</sup>	6.19±1.16 <sup>a</sup>	14.31±3.79 <sup>a</sup>	11.01±1.93 <sup>a</sup>	7.47±2.08 <sup>a</sup>	5.98±2.61 <sup>a</sup>	5.20±3.00 <sup>b</sup>	100.00
	开花期	9.76±1.39 <sup>b</sup>	10.88±1.16 <sup>b</sup>	8.92±1.69 <sup>b</sup>	5.85±0.66 <sup>a</sup>	6.35±0.49 <sup>a</sup>	7.12±1.77 <sup>b</sup>	4.47±1.03 <sup>bc</sup>	4.20±0.86 <sup>b</sup>	4.95±0.97 <sup>a</sup>	37.51±5.25 <sup>a</sup>	100.00
	结荚期	7.97±0.86 <sup>b</sup>	8.85±0.86 <sup>b</sup>	5.52±0.40 <sup>b</sup>	4.67±0.58 <sup>a</sup>	7.32±1.20 <sup>a</sup>	7.84±0.80 <sup>b</sup>	6.74±0.58 <sup>b</sup>	5.77±0.54 <sup>ab</sup>	6.26±0.49 <sup>a</sup>	39.07±3.42 <sup>a</sup>	100.00
	成熟期	10.55±0.75 <sup>b</sup>	11.87±0.02 <sup>b</sup>	10.38±0.37 <sup>b</sup>	5.43±0.24 <sup>a</sup>	5.46±0.24 <sup>a</sup>	9.17±0.00 <sup>ab</sup>	6.32±0.54 <sup>b</sup>	4.80±0.37 <sup>ab</sup>	6.48±0.20 <sup>a</sup>	29.53±0.73 <sup>a</sup>	100.00

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )

## 2.3 不同生育时期鹰嘴紫云英根系固土能力分析

### 2.3.1 不同生育时期根系形态及根系生物量变化

随着生育时期的推进,根系体积呈现增加的趋势,其中从分枝期至开花期根系体积的增加幅度最显著(图 1A)。开花期的根系体积比分枝期增加 0.64 倍。开花期过后,体积缓慢增长,结荚期根系体积仅增长 0.26 倍,成熟期根系体积增长 0.05 倍。从不同生育时期根系表面积来看,整个生育期一直处于增加状态,结荚期和成熟期处于基本持平的状态,增加不明显(图 1B)。分枝期根系表面积比苗期增长 4.55 倍。其余 3

个生育时期依次增加 1.32 倍、0.44 倍、0.02 倍。从根系分枝数来看,苗期至分枝期根系分枝数变化缓慢,分枝期至开花期根系分枝数明显增多。开花期至成熟期根系分枝数处于稳步上升阶段(图 1C)。分枝期比苗期增加 2.79 倍,其余生育时期根系分枝数分别增加 1.89 倍、0.39 倍和 0.33 倍。由图 1D 看出,从苗期至分枝期单株根系干重变化趋势最为明显,增加 17.19 倍。其次为开花期至分枝期,增加了 9.40 倍。结荚期、成熟期分别增加 0.46、0.35 倍(图 1D)。

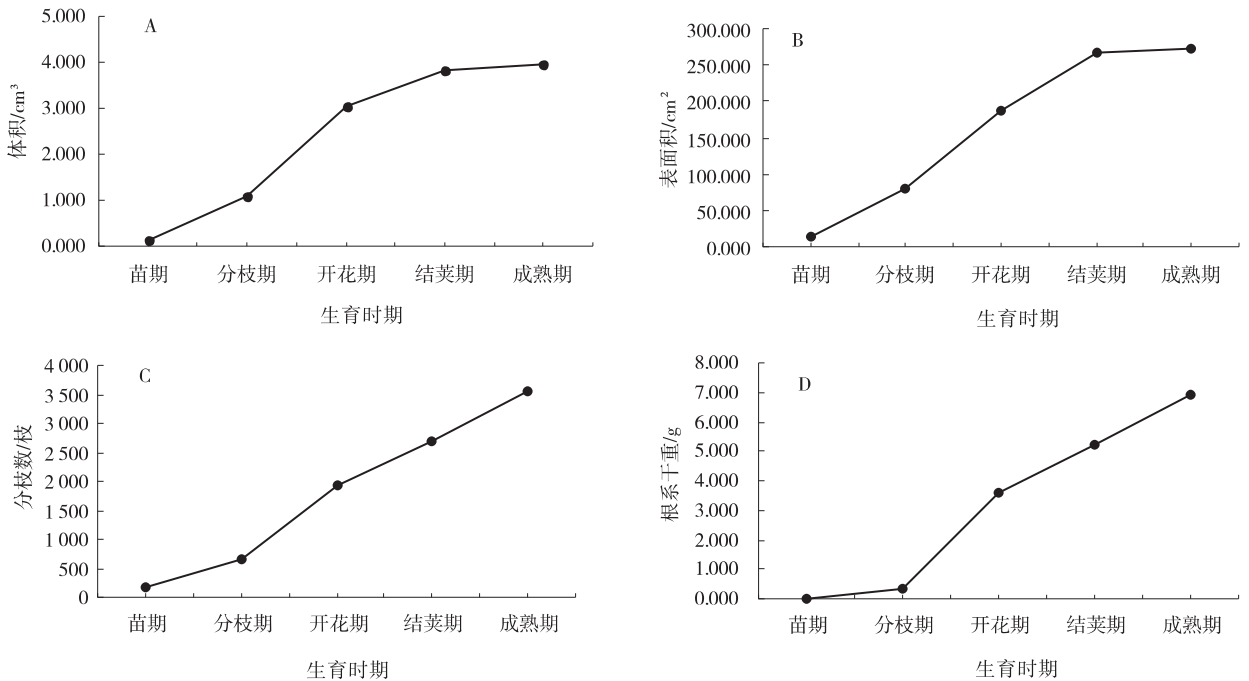


图 1 不同生育时期鹰嘴紫云英根系形态及生物量变化

Fig. 1 Morphological and biomass changes of root system at different growth stages

2.3.2 不同生育时期鹰嘴紫云英根系固定土壤体积估算 鹰嘴紫云英的根系系统由主根、侧根和不定根组成。当年生鹰嘴紫云英的根茎未形成不定根,侧根呈辐射状向四周扩散,故本研究以根系侧根长度及主根长度对根系包裹土体积进行估算。苗期根系固定土体积为 29.48 cm<sup>3</sup>,分枝期固定土体积为 477.43 cm<sup>3</sup>,开花期、结荚期和成熟期依次为 767.48 cm<sup>3</sup>、1 219.40 cm<sup>3</sup>和 1 500.13 cm<sup>3</sup>。不同生育时期鹰嘴紫云英根系固土能力呈逐渐上升的趋势(图 2)。

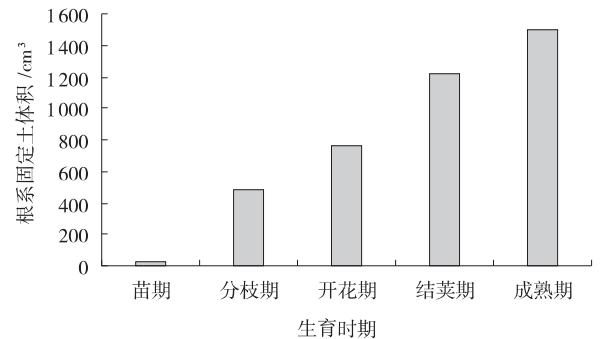


图 2 不同生育时期鹰嘴紫云英根系固定土壤体积估算

Fig. 2 Estimation of fixed soil volume of root system in different growth stages

## 3 讨论

占海歌<sup>[15]</sup>研究白三叶(*Trifolium repens*),黑麦草(*Lolium perenne*)和香根草(*Vetiveria zizanioides*)

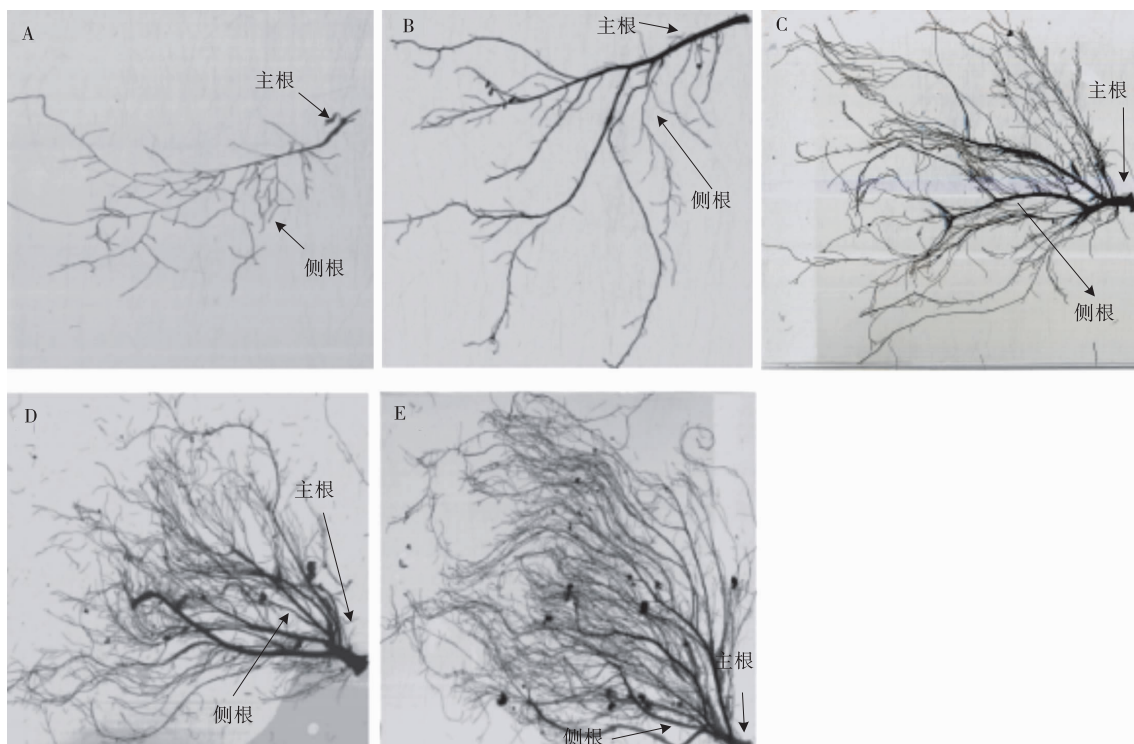
的全生育时期根系特征指出,植物根系随着时间变化有很大的差异,与本研究中鹰嘴紫云英根系随着生育时期变化特点基本一致。在鹰嘴紫云英的整个生育

期,从苗期到开花期根系发育最为旺盛。分枝期Ⅱ级侧根所占比例高于苗期,表明在分枝期生长旺盛,植株对水分的需求加强,这与大豆根系<sup>[16]</sup>的需水时期基本一致。苗期和分枝期的Ⅲ级侧根数量均少于Ⅰ级侧根和Ⅱ级侧根,说明在苗期和分枝期,根系主要形成Ⅰ级侧根和Ⅱ级侧根,目的是锚定植株。高振晓<sup>[17]</sup>研究冬小麦节水灌溉模式发现,小麦在灌浆期需水量增大。本研究中开花期、结荚期和成熟期Ⅲ级侧根所占比例逐渐增大,而到了花期之后,植株所需的营养物质和水分需求量增大,提供果实成熟所需物质,说明当细根占主要地位时,有利于植株养分和水分的吸收,促进植株的生长和成熟。

根据累计根长、累计根表面积、累计根数量的比例,同时考虑植物生长环境因素,可以确定植株代表根径级<sup>[12]</sup>。本试验通过对不同时期的鹰嘴紫云英累计根长和累计根表面积的测定,确定其代表根直径是0~0.5 mm、0.5~1 mm、1~1.5 mm。植株代表根直径没有随着生育时期的变化而变化,原因可能与植物本身的生物学特性有关。格日乐等<sup>[8,18]</sup>研究表明豆科紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)和草木犀(*Melilotus officinalis*)的代表根直

径级均是0~1.5 mm,与本研究植物的根系分布特点基本一致,均是细根占根系主体部分,且鹰嘴紫云英的细根数量更多。有研究表明,直径为0~1 mm的细根是固结土壤的关键,0~1 mm的细根在土壤中呈稠密的网状分布<sup>[19]</sup>,这在鹰嘴紫云英根系中也有所体现,表明其可能在加强土体抗侵蚀方面有重要的作用。但本研究植物种类单一,上述结果是否具有普遍性需进一步验证。

鹰嘴紫云英自国外引进后,对其研究相对较少<sup>[20-22]</sup>,鹰嘴紫云英作为牧草利用少,对其根系的研究也少。紫云英发达的根系对固定土壤有很重要的作用,其地上部分能够有效地减少雨滴击溅,从而减少土壤的流失。大量的细根系意味着土壤与根系之间有更



附图

A: 苗期鹰嘴紫云英根系形态; B: 分枝期鹰嘴紫云英根系形态; C: 开花期鹰嘴紫云英根系形态; D: 结荚期鹰嘴紫云英根系形态; E: 成熟期鹰嘴紫云英根系形态

土壤的加固情况。体积的变化与表面积的变化基本一致。植株的根系分枝数越多,对土壤的固结效果越好<sup>[28-29]</sup>。鹰嘴紫云英根系分枝数多,苗期到分枝期变化明显。从根系干重也可以得出同样结果,表明在分枝期时根系最为活跃,这与王建华<sup>[9]</sup>得出的结论相符。通过主根和一级侧根平均长度对根系包裹土体积进行估算,得出第一年鹰嘴紫云英成熟期的最大固土量为 $1\ 500.13\ \text{cm}^3$ 。根系的抗拉抗剪强度也是衡量固土性能的指标,下一步研究可针对不同时期根系的抗拉抗剪强度进行相关试验,明确鹰嘴紫云英根系能够承受的最大土壤侵蚀强度,使鹰嘴紫云英能够在土壤侵蚀区得到充分的利用,从而减少水土流失。

## 4 结论

(1)随着生育时期的推移,鹰嘴紫云英Ⅰ级侧根数占根系总数比例逐渐减少,Ⅲ级侧根占比逐渐上升。

(2)鹰嘴紫云英苗期代表根直径级为 $0\sim 1\ \text{mm}$ ,分枝期、开花期、结荚期和成熟期代表根直径级为 $0\sim 1.5\ \text{mm}$ 。在不同生育时期鹰嘴紫云英根系的发生发育中,以直径级为 $0\sim 1.5\ \text{mm}$ 的细根占主体,也是固结土壤的关键。

(3)根系体积分枝期到开花期的增加幅度最大,根系表面积在生育后期变化不明显。分枝数以苗期至分枝期、分枝期至开花期明显增多。在苗期至分枝期、分枝期至开花期根系干重均增加明显。

### 参考文献:

- [1] 刘捷平. 植物形态解剖学[M]. 北京:北京师范学院出版社,1991:173.
- [2] 邢国芳,马建华. 植物根系发育及其激素调控机理[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2012:62-63.
- [3] 单立山,张希明,魏疆,等. 塔克拉玛干沙漠腹地两种灌木有效根系密度分布规律的研究[J]. 干旱区地理,2007,30(3):400-405.
- [4] 李珍玉,王丽锋,肖宏彬,等. 香根草根系在公路边坡土体中的分布特征[J]. 应用基础与工程科学学报,2017(1):102.
- [5] 方便,罗海波,魏华炜. 三叶草根-土复合体抗剪切强度试验研究[J]. 贵州大学学报自然科学版,2012,29(2):29-32.
- [6] 杨璞,向志海,胡夏嵩,等. 根对土壤加强作用的研究[J]. 清华大学学报(自然科学版),2009,49(2):305-308.
- [7] 胡夏嵩,陈桂琛,周国英,等. 青藏铁路沱沱河段路基边坡植物护坡根系力学强度试验研究[J]. 水文地质工程地质,2012,39(1):107-113.
- [8] 格日乐,刘艳琦,阿如早,等. 3种典型水土保持植物根系数量特征[J]. 中国水土保持科学,2018,16(1):88-95.
- [9] 王建华. 鹰嘴紫云英生长第一年根系发育动态的研究[J]. 草业科学,1990(1):53-60.
- [10] 商作璞. 鹰嘴紫云英[J]. 农业科技通讯,1984(7):33.
- [11] 马红燕,格日乐,赵杏花,等. 2种水土保持灌木的根系数量特征研究[J]. 水土保持通报,2013,33(2):165-168.
- [12] 邢会文,姚喜军,刘静,等. 4种植物代表根的研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2008,29(4):22-25.
- [13] 刘艳琦. 5种植物两个生长时期根系生物力学特性的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2018:23.
- [14] 杨朝东,张霞,万勇,等. 荻草根系统扩展能力和固土作用的研究[J]. 长江大学学报(自然科学版)农学卷,2009,6(3):19-23.
- [15] 占海歌. 3种草本植物根系特征对土壤抗侵蚀性能影响[D]. 武汉:华中农业大学,2017:42.
- [16] 管建慧,蒋阿宁. 栽培条件对作物生长及根系提水作用的影响[J]. 福建农业,2015(8):90.
- [17] 高振晓. 泾惠渠灌区冬小麦节水灌溉制度模式研究[D]. 杨陵:西北农林科技大学,2014:44.
- [18] 格日乐,额尔敦花,宋想斌,等. 6种水土保持植物枝条的数量特征[J]. 中国水土保持科学,2012,10(6):71-76.
- [19] Vannoppen W, Vanmaercke M, De Baets S, *et al.* A review of the mechanical effects of plant roots on concentrated flow erosion rates [J]. *Earth-Science Reviews*, 2015,150:666-678.
- [20] 杨德光,郭景文,马明祥. 四种牧草种子萌发期抗旱性的研究[J]. 国外畜牧学-草原与牧草,1995(3):26-28.
- [21] 王鹏. 鹰嘴紫云英头茬草生产性能的研究[J]. 畜牧兽医杂志,2005(6):9-11.
- [22] De Baets S, Poesen J, Knapen A, *et al.* Impact of root architecture on the erosion-reducing potential of roots during concentrated flow [J]. *Earth Surface Processes & Landforms*, 2007,32(9):1323-1345.
- [23] Zhou Z C, Shanguan Z P. Soil anti-scourability enhanced by plant roots[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2005,47(6):676-682.
- [24] 湛芸,何丙辉,练彩霞,等. 三峡库区陡坡根-土复合体抗冲性能[J]. 生态学报,2016,36(16):5173-5181.
- [25] 孔红. 黄芪属六种植物的核型多样性[J]. 广西植物,2012,32(5):579-582.
- [26] Eissenstat D M, Yanai R D. The Ecology of Root Lives-

pan[J]. *Advances in Ecological Research*, 1997, 27: 1—60.

长及分布的影响[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(12): 2476—2484.

[27] 嵇晓雷. 基于植被根系分布形态的生态边坡稳定性研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2013: 43.

[29] 郑慧玲, 赵成章, 段贝贝, 等. 琵琶柴根系分叉数与连接长度权衡关系的坡向差异[J]. *生态学杂志*, 2015, 34

[28] 孙浩燕, 李小坤, 任涛, 等. 浅层施肥对水稻苗期根系生

(10): 2727—2732.

## Study on quantitative characteristics and soil-fixing capacity of root system of *Astragalus cicer* in different growth periods

YU Mei-ling, CHEN Jin-long, ZHAO Bing-sen, LI Fan,  
JIAN Xin-feng, MA Hui-ling

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory of Grassland Ecosystem/Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino-U. S. Centers for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In order to explore the root development of *Astragalus cicer* in infertile soil, the root quantitative characteristics at different development stages were measured, including root surface area, volume, branch number, cumulative root length, cumulative root surface area, cumulative root volume, lateral root classification and dry weight at different stages. The results showed that the lateral roots were complex and net-like distribution; the proportion of Class I lateral roots was the highest in seedling stage, and the lowest in the mature stage, accounting for 52.8% and 14.93% respectively; the proportion of Class II lateral roots increased first and then decreased, reaching the maximum of 66.43% in branching stage; the proportion of Class III lateral roots was the highest (47.9%) in mature stage, and the lowest (12.1%) in seedling stage. There were significant differences among all levels of lateral roots in the same growth period. In whole growth period, the root growth and development were the most active in the branching period. The representative root diameter class was 0~1 mm at seedling stage and 0~1.5 mm at branching stage, flowering stage, pod setting stage and mature stage. The ability of root system to consolidate soil gradually enhanced with the growth period. In conclusion, the root development ability of *A. cicer* was strong in infertile soil, and the dry weight of root system was the highest in branching period, and the fine root with diameter class of 0~1.5 mm was the dominant, which could prevent the soil erosion.

**Key words:** *Astragalus cicer*; root system; scalar property; soil consolidation capacity