

研究报告

Research Report

不同栽培密度和采收期对蒙古黄芪生长发育和产量的影响

王玲玲^{1,3} 杨路存^{1,2} 熊丰^{1,3} 聂秀青^{1,3} 肖元明^{1,3} 李长斌^{1,3} 赵晓辉^{1,2} 郑智^{1,2} 周国英^{1,2*}

1 中国科学院西北高原生物研究所, 西宁, 810008; 2 中国科学院西北高原生物研究所, 中国科学院藏药研究重点实验室, 青海省青藏高原特色生物资源重点实验室, 西宁, 810008; 3 中国科学院大学, 北京, 100049

*通信作者, zhougy@nwipb.cas.cn

摘要 通过设置不同的密度梯度, 株行距分别为 10 cm×25 cm (40×10⁴ 株/hm²)、15 cm×25 cm (26.7×10⁴ 株/hm²)、20 cm×25 cm (20×10⁴ 株/hm²)、25 cm×25 cm (16×10⁴ 株/hm²)、30 cm×25 cm (13.3×10⁴ 株/hm²), 采用随机区组实验设计, 每个梯度 3 个重复; 采收期为 8 月、9 月和 10 月, 研究不同栽培密度和采收期对青海省蒙古黄芪的生长发育和产量的影响, 以期得到蒙古黄芪在青海省栽培的最佳密度和采收期。研究结果表明, 密度和采收期对蒙古黄芪的生长发育和产量均有影响。随着密度的减小, 植株个体指标测量值增加, 但是群体产量整体下降。从多指标综合评价中得出, 最佳的种植密度为 26.7×10⁴ 株/hm², 在此密度下黄芪的综合性状和群体产量达到最佳。从采收期的综合评价中得出, 10 月份采收的黄芪品相和产量最高。从生产实践和经济效益出发, 青海省蒙古黄芪的最佳种植密度为 26.7×10⁴ 株/hm², 宜 10 月采收。本研究为青海省农业区蒙古黄芪的种植提供了参考技术, 对当地的扶贫工作起到了促进作用, 同时填补了高海拔地区栽培技术的空白, 实现了黄芪资源的可持续发展。

关键词 蒙古黄芪(*Astragalus mongolica*), 栽培密度, 采收期, 产量

Effect of Different Harvest Periods and Cultivation Density on Growth, Development and Yield of *Astragalus mongolica*

Wang Lingling^{1,3} Yang Lucun^{1,2} Xiong Feng^{1,3} Nie Xiuqing^{1,3} Xiao Yuanming^{1,3} Li Changbin^{1,3} Zhao Xiaohui^{1,2} Zheng Zhi^{1,2} Zhou Guoying^{1,2*}

1 Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xining, 810008; 2 Qinghai Key Laboratory of Qinghai-Tibet Plateau Biological Resources, Key Laboratory of Tibetan Medicine Research, Chinese Academy of Sciences, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Science, Xining, 810008; 3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049

* Corresponding author, zhougy@nwipb.cas.cn

DOI: 10.13271/j.mpb.017.007962

Abstract By setting different density gradients, the row spacing of plants was 10 cm×25 cm (400 000 plants/hm²), 15 cm×25 cm (267 000 plants/hm²), 20 cm×25 cm (200 000 plants/hm²), 25 cm×25 cm (160 000 plants/hm²), and 30 cm×25 cm (133 000 plants/hm²), and each gradient was repeated for 3 times. The harvest period is August, September and October, to study the effects of different cultivation densities and harvesting periods on the growth and yield of *Astragalus mongolica* in Qinghai Province. In order to obtain the best density and harvesting time of *Astragalus mongolica* in Qinghai Province. The results showed that density and harvesting time had an effect on the growth and yield of *Astragalus mongolica*. As the density decreases, the measured values of individual plant

基金项目: 本研究由青海省科技成果转化专项(2017-SF-119)、青海省高端创新人才“千人计划”项目、中科院兰州分院院地合作项目和青海省重点实验室发展建设专项(2017-ZJ-Y10)共同资助

引用格式: Wang L.L., Yang L.C., Xiong F., Nie X.Q., Xiao Y.M., Li C.B., Zhao X.H., Zheng Z., and Zhou G.Y., 2019, Effect of different harvest periods and cultivation density on growth, development and yield of *Astragalus mongolica*, Fenzi Zhiwu Yuzhong (Molecular Plant Breeding), 17(23): 7962-7968 (王玲玲, 杨路存, 熊丰, 聂秀青, 肖元明, 李长斌, 赵晓辉, 郑智, 周国英, 2019, 不同栽培密度和采收期对蒙古黄芪生长发育和产量的影响, 分子植物育种, 17(23): 7962-7968)

indicators increase, but the population yield decreases overall. From the comprehensive evaluation of multiple indicators. The optimal planting density was 267 000 plants/hm², under which the appearance quality and population yield of *Astragalus mongolicus* reached the best. The quality and yield of *Astragalus* were the highest in October. Based on the actual situation and economic benefits, the optimal planting density of *Astragalus mongolicus* in Qinghai Province is 267 000 plants/hm², which should be harvested in October. This study provides reference technology for the cultivation of *Astragalus mongolicus* in the agricultural area of Qinghai Province, promotes the local poverty alleviation work, fills the gap of cultivation technology in the high-altitude area, and realizes the sustainable development of *Astragalus* resources.

Keywords *Astragalus mongolicus*, Cultivation density, Harvesting period, Yield

黄芪是中国传统的大宗中药材之一, 中药材黄芪是指蒙古黄芪(*Astragalus mongolicus* (Fisch.) Bge. var *mongolicus* (Bge.) Hsiao)或膜荚黄芪(*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge.)的干燥根, 具有补气升阳、固表止汗、利水消肿、生津养血等功效(国家药典, 2015, 中国医药科技出版社, pp.23-24)。黄芪为药食两用的中药(刘东岩等, 2016), 被广泛应用于食品、化妆品和其他产品的开发中, 大约 50%的黄芪用于生产黄芪饮片, 近 50%用于中成药和提取物及制剂(张兰涛等, 2006)。由于黄芪国内、国际市场广阔, 需求量不断增加, 而野生黄芪濒临灭绝, 目前商品芪主要是栽培品。早在 20 世纪 50 年代起, 人们就开始大规模种植黄芪, 如今种植区域逐渐扩大, 并形成山西、内蒙古、甘肃等主产区(秦雪梅等, 2013)。

黄芪主要活性成分为多糖、皂苷类和黄酮类, 随着现代药理学的发展, 较多的研究报道黄芪具有增强机体免疫力, 清除自由基、抗氧化、抗辐射、抗肿瘤、抗心肌缺血、降血压等药理作用(刘德丽等, 2014)。目前, 对黄芪化学成分和药理作用研究较多(Luo et al., 2004), 栽培技术(如施肥, 密度, 覆膜等)的研究大都集中于主产区(刘德旺等, 2016), 对于高海拔种植区域的栽培研究鲜见报道。目前青海省黄芪栽培发展迅速, 尤其是在海东地区百亩、千亩的大规模种植现象, 青海省已成为黄芪新产区(刘德旺等, 2016), 而关于当地的栽培技术研究罕见报道。当地药农对黄芪种植方式、栽培技术等缺乏清晰的认识, 引种栽培过程中耕作粗放、管理不规范、产量不稳定等问题突出, 迫切需要黄芪优质高产栽培技术。

因此, 本研究设置了蒙古黄芪的不同栽培密度实验, 并采集了不同采收期的黄芪, 以期改进当地黄芪粗放的栽培方式, 建立系统的种植技术, 以达到药材优质高产的目的, 提高药农经济收入, 实现脱贫致富, 同时为药材质量评价提供参考建议。

1 结果与分析

1.1 不同栽培密度和采收期对蒙古黄芪生长发育和产量的影响

1.1.1 不同栽培密度对蒙古黄芪的生长发育和产量的影响

根据 8 月、9 月、10 月三个月的蒙古黄芪生长发育指标单因素方差分析结果和不同密度不同月份的折干率和产量可知, 同一采收期, 不同密度下, 蒙古黄芪的生长指标差异显著($p < 0.05$) (图 1; 表 1)。

各密度株高均值大于 100 cm。株距 30 cm 时, 8 月株高最大值为 121.62 cm; 当株距为 20 cm 时, 9 月、10 月株高最大值为 119.67 cm、110.27 cm。8 月、9 月株高最大值显著高于株距 15 cm 的测量值($p < 0.05$)。说明不同密度对 10 月份株高无显著影响(表 1)。

根长受密度影响不显著。同一采收期下, 9 月份不同密度对根长无显著影响, 8 月份株距 10 cm、15 cm、25 cm、30 cm 之间无显著性差异, 但株距为 20 cm 时根长最大值为 43.63 mm, 显著高于株距为 15 cm 下的最小值, 39.57 mm ($p < 0.05$)。10 月份株距在 10 cm、15 cm、20 cm、25 cm 之间无显著性差异, 但株距为 30 cm 时, 根长为 42.43 mm, 显著低于其他密度下的测量值($p < 0.05$) (表 1)。

根直径受密度影响显著。随着株距的增大, 根直径呈递增趋势。8 月份, 株距 30 cm 下的根直径显著高于其他密度的($p < 0.05$), 株距在 10 cm、15 cm、20 cm、25 cm 之间的根直径无显著性差异。9 月份株距为 30 cm 时的根直径最大, 为 16.51 mm, 显著高于其他密度($p < 0.05$), 株距 10 cm 下的根直径最小, 为 12.30 mm, 显著低于其他密度下的($p < 0.05$)。10 月份株距为 25 cm、30 cm 时, 根直径显著高于株距 10 cm、15 cm、20 cm ($p < 0.05$) (表 1)。

根鲜重整体随株距的增大而增加。8 月份, 低密度(株距为 30 cm)下的根鲜重显著高于高密度(株距

表 1 蒙古黄芪密度间生长发育指标的平均值和差异性

Table 1 Mean and difference of growth and development indicators of *Astragalus mongolica* during the density

监测部位 Monitoring site	株距(cm)×行距(cm) Plant spacing (cm)×Row spacing (cm)	月份 Month		
		8	9	10
株高 Plant height	10×25	118.48±3.39 ab	110.21±2.08 bc	104.32±4.11 a
	15×25	111.69±3.34 b	106.35±2.66 b	107.93±3.22 a
	20×25	119.80±3.38 ab	119.67±3.84 a	110.27±3.62 a
	25×25	119.03±3.73 ab	114.45±3.76 abc	108.39±4.42 a
	30×25	121.62±3.09 a	117.63±3.91 ac	104.82±4.61 a
根长度 Root length	10×25	41.31±1.11 ab	40.70±2.08 a	44.40±4.11 ab
	15×25	39.57±1.44 b	41.60±1.61 a	50.53±1.59 a
	20×25	43.63±1.69 a	44.10±1.64 a	45.33±2.30 ab
	25×25	41.65±1.41 ab	43.53±2.31 a	48.93±2.19 a
	30×25	43.28±1.30 ab	44.18±1.68 a	42.43±2.55 b
根直径 Root diameter	10×25	10.65±0.33 b	12.30±0.43 c	12.77±0.31 b
	15×25	11.67±0.71 ab	12.91±0.57 bc	14.15±5.65 b
	20×25	11.85±0.46 ab	14.52±0.55 b	14.21±0.57 b
	25×25	11.35±0.55 ab	14.25±0.70 b	15.87±0.52 a
	30×25	12.49±0.57 a	16.51±0.60 a	16.52±0.73 a
根鲜重 Root fresh weight	10×25	21.83±1.57 c	33.73±2.66 c	39.40±4.24 c
	15×25	25.72±2.50 bc	44.55±2.79 bc	63.56±5.65 ab
	20×25	31.32±2.95 ab	55.70±6.68 ab	49.69±4.42 bc
	25×25	32.61±2.84 ab	54.71±7.73 ab	62.90±5.17 ab
	30×25	35.44±2.52 a	63.53±6.35 a	67.91±7.24 a

注: 同列不同的字母表示处理间在 0.05 水平存在显著差异; 表中数据是 n 个数据的平均值(n≥30)

Note: Different lowercase letters within the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level; The data in the table is the average of n data (n≥30)

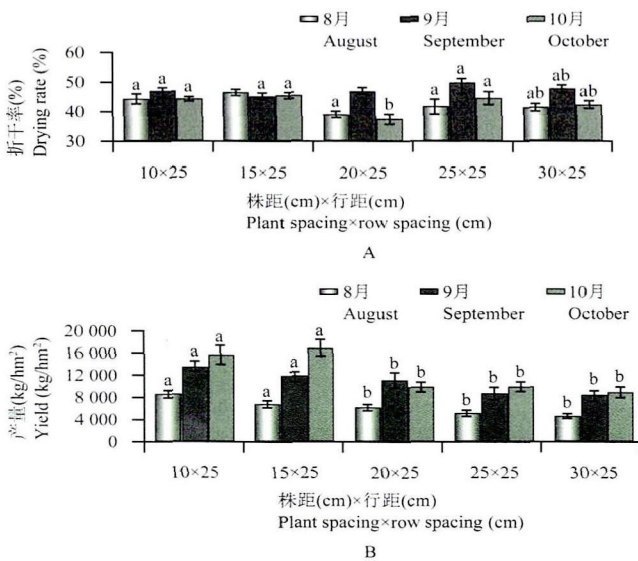


图 1 不同栽培密度下蒙古黄芪的折干率(A)和产量(B)

注: 不同的字母表示处理间在 0.05 水平存在显著差异

Figure 1 Drying rate (A) and yield (B) of *Astragalus mongolica* under different cultivation densities

Note: Different lowercase letters within the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level

10 cm, 15 cm)下的根鲜重($p < 0.05$), 而不同的高密度(株距 10 cm, 15 cm)之间没有显著性。9 月份, 株距 30 cm 下的根鲜重达到最大值, 为 63.53 g, 显著高于株距 10 cm、15 cm 下的根鲜重($p < 0.05$), 株距为 30 cm 时, 根鲜重是株距 10 cm 下根鲜重的 1.88 倍, 而株距 20 cm、25 cm、30 cm 之间根鲜重没有显著影响。10 月份, 株距为 30 cm 下的根鲜重最大值, 为 63.53 g, 显著高于株距 10 cm 下的根鲜重最小值, 为 39.40 g ($p < 0.05$) (表 1)。

折干率是衡量药材品质好坏和确定最佳采收期的指标之一, 受环境和耕作管理因素影响(闫嵩等, 2016)。不同密度对折干率的影响不大, 株距 10 cm、15 cm、25 cm、30 cm 下折干率无显著差异, 这可能是由于折干率不仅受根鲜重影响, 也受风干时间、风干强度的影响(图 1A)。

产量受密度影响较大, 随株距的增加, 产量整体呈下降趋势, 且 8、9 月份趋势一致(图 1B)。高密度(株距 10 cm, 15 cm)下的产量显著高于低密度下(株距 20 cm, 25 cm, 30 cm)的产量($p < 0.05$), 但不同高密

度和不同低密度之间无显著差异。10月份的最大群体产量为 12 352.67 kg, 即株行距为 15 cm×25 cm (26.7×10⁴ 株/hm²)。

1.1.2 不同采收期对蒙古黄芪的生长发育和产量的影响

根据不同月份间各生长指标和折干率及产量单因素方差分析可知,对3个月份之间进行多重比较,随着生长期的延长,株高呈显著降低趋势($p < 0.05$) (表2)。同一密度处理后株高在10月份平均比8月份低9.20%,其中以株行距30 cm×25 cm (13.3×10⁴ 株/hm²)处理的最明显,10月份比8月份低13.81% (表1)。

根长、根直径、根鲜重在月际间呈递增的生长变化,同一密度下,株距为15 cm时,10月份的根长、根直径、根鲜重分别是8月份的1.28倍、1.21倍、2.47倍。对3个月份之间进行多重比较,发现月份间存在显著性差异。随着生长期的增加,10月份各生长指标(除株高外)和产量及折干率显著高于8、9月份的($p < 0.05$) (表2)。

1.2 不同栽培密度和采收期对蒙古黄芪生长发育和产量的主成分分析

1.2.1 不同栽培密度对蒙古黄芪生长发育和产量的主成分分析

本研究采用 SPSS 对根长、根直径、根鲜重、产量四个指标进行主成分分析,结果显示。提取特征值 ≥ 1

的前两个主成分,累计贡献率达到92.3%,基本可以代表原始数据信息(表3)。

根据特征向量,得到四个主成分的线性组合表达式为: $Z_1 = -0.13X_1 + 0.65X_2 + 0.53X_3 - 0.54X_4$; $Z_2 = 0.8X_1 + 0.09X_2 + 0.46X_3 + 0.37X_4$,再以每个主成分的贡献率作为权数,构建综合评价函数: $F = 58.7\%Z_1 + 33.6\%Z_2$,将每个密度的主成分得分计算出后,代入综合评价函数,计算F值,F值越大,说明该密度下的综合品质越高,最后得到密度的F值排名(表4)。密度为26.7×10⁴株/hm²下,F值最大,综合排名最高(表4)。因此,最佳种植密度为株行距为15 cm×25 cm,即26.7×10⁴株/hm²。

1.2.2 不同采收期对蒙古黄芪生长发育和产量的主成分分析

本研究采用 SPSS 对根长、根直径、根鲜重、产量四个指标进行主成分分析,结果显示,提取特征值 ≥ 1 的前一个主成分,累计贡献率达到93.1%,基本可以代表原始数据信息(表5)。

根据特征向量,得到四个主成分的线性组合表达式为: $Z_1 = 0.46X_1 + 0.51X_2 + 0.51X_3 + 0.52X_4$,再以每个主成分的贡献率作为权数,构建综合评价函数: $F = 93.1\%Z_1$,将每个采收期的主成分得分计算出后,代入综合评价函数,计算F值,F值越大,说明该采收期下的综合品质越高,最后得到采收期的F值排名(表6)。从不同月份采收期的综合评价来看,10月份F值最

表2 蒙古黄芪月间生长发育指标差异显著性分析

Table 2 Analysis on the significant difference of growth and development indexes of *Astragalus mongolicus* between months

月份	株高(cm)	根长(cm)	根直径(mm)	根鲜重(g)	产量(kg/hm ²)	折干率(%)
Month	Plant height (cm)	Root length (cm)	Root diameter (mm)	Root fresh weight (g)	Yield (kg/hm ²)	Drying rate (%)
8	118.12 a	41.89 b	11.60 b	29.38 c	6 358.92 c	42.60 b
9	113.66 a	42.82 b	14.10 a	50.44 b	10 746.09 b	47.22 a
10	107.15 b	46.33 a	14.70 a	56.69 a	12 352.67 a	42.88 b

注: 同列不同的字母表示处理间在0.05水平存在显著差异;表中数据是n个数据的平均值($n \geq 30$)

Note: Different lowercase letters within the same column meant significant difference among treatments at 0.05 level; The data in the table is the average of n data ($n \geq 30$)

表3 主成分的特征值, 累计贡献率和特征向量值

Table 3 The eigenvalue, contribution rate, accumulated contribution rate and eigenvector of principle component analysis

主成分	特征值	贡献率(%)	累计贡献率(%)	特征向量			
				X_1	X_2	X_3	X_4
Principal component	Eigenvalue	Contribution rate (%)	Accumulative contribution (%)	Eigenvector			
1	2.35	58.7	58.7	-0.13	0.65	0.53	-0.54
2	1.35	33.6	92.3	0.8	0.09	0.46	0.37

注: X_1 : 根长; X_2 : 根直径; X_3 : 根鲜重; X_4 : 产量

Note: X_1 : Root length; X_2 : Root diameter; X_3 : Root fresh weight; X_4 : Production

表 4 密度的综合排名

Table 4 Comprehensive rank of density

密度 Density	F 值 F value	F 值排名 Rang of F value
13.3	0.15	3
16.0	0.56	2
20.0	-0.80	4
26.7	1.10	1
40.0	-1.00	5

大,综合排名最高。因此,最佳采收期宜 10 月份。

2 讨论

黄芪主要种植在北方干旱、半干旱地区,其产量受到密度和采收期影响。青海省气候和地理位置独特,但在引种栽培阶段,药农缺乏栽培规范化意识和相关知识,忽略了生态因子对植物生长和药用部位的影响,不仅造成资源浪费,而且质量也难保证(韩相鹏等,2003)。本研究通过对黄芪生长指标和产量的单因素方差分析表明,10 月份的群体产量显著高于前两个月的群体产量,株行距对个体生长指标也有显著性影响,株距为 30 cm 时,个体指标整体较好于其他株行距的指标,即随着株距的增加,植物个体根长、根直径、根鲜重等性状指标增加,但是群体产量下降,这与负密度制约有关,个体间具有相同的生长习性和资源需求,当资源(光照,水分等)有限时,邻体之间发生竞争就会导致同种个体生物量下降,死亡率升高(祝燕等,2009)。密度较低时,黄芪个体获得较多的生长空间,水肥等资源也较充足,个体性状生长较好,而密度过高时,由于个体之间存在竞争,生长空间和汲取的营养受限,因而影响群体产量,所以必须找到最佳的栽培密度,使得黄芪在生长过程中,水肥、光照等适宜,进而获得高产优质的黄芪(姚雪莲等,2012;张海龙等,2015;梁丽娜等,2018)。不同采收期,植物营养成分积累不同,外观品质受营养元素

表 5 主成分分析的特征值,累计贡献率和特征向量值

Table 5 The eigenvalue, contribution rate, accumulated contribution rate and eigenvector of principle component analysis

主成分 Principal component	特征值 Eigenvalue	贡献率(%) Contribution rate (%)	累计贡献率(%) Accumulative contribution (%)	特征向量 Eigenvector			
				X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
1	3.723	93.1	93.1	0.46	0.51	0.51	0.52

注: X₁: 根长; X₂: 根直径; X₃: 根鲜重; X₄: 产量

Note: X₁: Root length; X₂: Root diameter; X₃: Root fresh weight; X₄: Production

表 6 密度的综合排名

Table 6 Comprehensive rank of density

采收期 Harvest time	F 值 F value	F 值排名 Range of F value
8 月 August	-1.95	3
9 月 September	0.33	2
10 月 October	1.61	1

的分配影响(马世震等,2005;刘靖等,2009;柯宇辉等,2016),合理的采收期可以获得最佳的外观品质,提高商品等级和经济价值。

通过运用主成分分析,对黄芪药用部位根进行多指标评价,得到最佳密度与最宜采收期,与李树娜(2015)试验结果大致相同。李树娜(2015)认为陕西榆林地区蒙古黄芪最佳种植密度是 25×10⁴株/hm²,与本实验的差异可能是由于两个种植地的生境不同引起的。最佳采收时期与传统农业收割经验和理论相一致,证明本实验方法可行。最终得出,青海省蒙古黄芪人工栽培最佳密度为 26.7×10⁴株/hm²,宜 10 月份采收。

对黄芪生长发育和产量的影响,不应采用单一的指标性方法评价,应该从多角度出发,采用综合指标评价法(杨铭,2008;高星等,2017;王丹丹等,2018),实验证明,主成分分析排除了人为的干扰,得出的结果更具有客观性,适合于中药质量的评定。实验结果是黄芪三个月的生长指标和群体产量,如果加入一些化学成分和药理作用评价结果,可能结论会更加客观完善,这有待进一步的研究分析。

3 材料与方法

3.1 试验材料

试验材料为蒙古黄芪种苗,选用外观形态一致的健壮苗。

3.2 试验样地概况

试验样地位于青海省民和县峡门镇腰路村(36°15'32"N, 102°34'15"E), 平均海拔 2 000 m, 气候属于高原大陆性半干旱气候, 年均温 16.1℃, 光照时间长、太阳辐射强, 昼夜温差大, 年降雨量 464.0 mm, 降水量集中在 7~9 月。

3.3 试验设计

设 5 个密度梯度, 株行距 10 cm×25 cm (40×10⁴ 株/hm²)、15 cm×25 cm (26.7×10⁴ 株/hm²)、20 cm×25 cm (20×10⁴ 株/hm²)、25 cm×25 cm (16×10⁴ 株/hm²)、30 cm×25 cm (13.3×10⁴ 株/hm²), 采用随机区组实验设计, 每个梯度设 3 个重复, 共 15 个小区, 每个小区 1.2 m×7 m, 共占地 126 m²。

采收期实验分别在 8 月 29 日、9 月 26 日、10 月 27 日。

3.4 测试指标

各小区每月定期挖 20 株, 样品经过清洗, 测量株高、根长、根直径、根鲜重, 带回实验室自然风干后称量其干重。

3.5 统计分析

应用 SPSS 22.0 对生长发育指标进行方差分析、主成分分析, 采用 LSD 法进行多重比较, 用 Origin 2018 进行作图。

作者贡献

王玲玲是本研究实验设计者、论文撰写和研究的执行人; 杨路存参与实验设计, 田间试验布设; 熊丰、聂秀青、肖元明、李长斌、赵晓辉、郑智协助进行田间试验种植、样品处理工作; 周国英是项目的负责人, 指导实验设计, 数据分析和论文写作与修改。全体作者都阅读并同意最终的文本。

致谢

本研究由青海省科技成果转化专项(2017-SF-119)、青海省高端创新人才“千人计划”项目、中科院兰州分院院地合作项目和青海省重点实验室发展建设专项(2017-ZJ-Y10)共同资助。

参考文献

Gao X., Lin Y., Wang W.L., Yang J.F., Li X.X., and Gao Q.G., 2017, Response of N, P, K nutrition application to *Astragalus*

mongolicus, Xibei Nongye Xuebao (Acta Agricultura Boreali-occidentalis Sinica), 26(12): 1845-1852 (高星, 林云, 王渭玲, 杨江峰, 李星星, 高青鸽, 2017, 蒙古黄芪对 N、P、K 的肥效响应, 西北农业学报, 26(12): 1845-1852)

Han X.P., Luo D.G., and Huang X.F., 2003, Chemical treatment of planting density and fertilization level and yield of astragalus, *Zhongyaocai* (Journal of Chinese Medicinal Materials), 26(5): 319-321 (韩相鹏, 骆得功, 黄贤芬, 2003, 种植密度施肥水平药剂处理与黄芪产量, 中药材, 26(5): 319-321)

Ke Y.H., Jiang N.X., Hou S., Guo S.Y., Zhang N.Y., and Zhang K.Q., 2016, Effects of planting density on aboveground biomass and morphological changes of *Hypericum aconitum* L., *Zhongyaocai* (Journal of Chinese Medicinal Materials), 39(1): 21-23 (柯宇辉, 姜南翔, 侯爽, 郭树义, 张南翼, 张克勤, 2016, 栽培密度对乌腺金丝桃地上部分生物量及形态变化的影响, 中药材, 39(1): 21-23)

Li S.N., 2015, Effects of planting density and sowing-date on growth and secondary metabolites accumulation of *Astragalus mongolicus*, Thesis for M.S., Northwest A&F University, Supervisor: Wang W.L., pp.17-18 (李树娜, 2015, 栽植密度与播种时期对蒙古黄芪生长发育及次生代谢产物积累的影响, 硕士学位论文, 西北农林科技大学, 导师: 王渭玲, pp.17-18)

Liang L.N., Liu X., Tang X., Wen Y.K., Si H.J., and Zhang N., 2018, Effects of drought stress on physiological and biochemical indexes of potato leaves, *Jiyinzuxue Yu Yingyong Shengwuxue* (Genomics and Applied Biology), 37(3): 1343-1348 (梁丽娜, 刘雪, 唐勋, 文义凯, 司怀军, 张宁, 2018, 干旱胁迫对马铃薯叶片生理生化指标的影响, 基因组学与应用生物学, 37(3): 1343-1348)

Liu D.L., Bao H.Y., and Liu Y., 2014, Progress on chemical constituents and pharmacological effects of *Astragali radix* in recent five years, *Shipin Yu Yaopin* (Food and Drug), 16(1): 68-70 (刘德丽, 包华音, 刘杨, 2014, 近 5 年黄芪化学成分及药理作用研究进展, 食品与药品, 16(1): 68-70)

Liu D.W., Gu C.M., Yang Q.Z., Huang L.F., Xie C.X., and Cai M., 2016, Resource surveys and suitability of origin for genuine medicinal materials, *Astragalus mongolicus* var. *mongolicus* in Inner Mongolia, China, *Yingyong Shengtai Xuebao* (Chinese Journal of Applied Ecology), 27(3): 838-844 (刘德旺, 谷彩梅, 杨庆珍, 黄林芳, 谢彩香, 蔡敏, 2016, 内蒙古地区道地药材蒙古黄芪资源调查及产地适宜性, 应用生态学报, 27(3): 838-844)

Liu D.Y., Li Y.H., Xu J.T., and Zhu Y., 2016, Anti-aging traditional Chinese medicine: potential mechanisms involving AMPK pathway and calorie restriction based on "medicine-food homology" theory, *Zhongguo Zhongyao Zazhi* (Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine), 41(6): 1144-

- 1151 (刘东岩, 李亦晗, 徐砚通, 朱彦, 2016, 从“药食同源”探讨抗衰老中药激活 AMPK 通路改善能量代谢的潜在机制, 中国中药杂志, 41(6): 1144-1151)
- Liu J., Chen H.B., Du X.G., Zhao Z.Z., Wang B., Zhao Y.Y., and Yi T., 2009, Quality evaluation of *Radix astragali* from different sources in China, *Zhongguo Yiyao (Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences)*, 18(1): 14-19 (刘靖, 陈虎彪, 杜新刚, 赵中振, 王邠, 赵玉英, 易涛, 2009, 不同来源中药黄芪的质量评价, 中国药学(英文版), 18(1): 14-19)
- Luo Y.M., Qin Z., Hong Z., Zhang X.M., Ding D., Fu J.H., Zhang W.D., and Chen J., 2004, *Astragaloside IV* protects against ischemic brain injury in a murine model of transient focal ischemia, *Neuroscience Letters*, 363(3): 218-223
- Ma S.Z., Chen Z.G., Li Y., Zhang D.X., and Ma J.M., 2005, Study on the changes of *Astragalus membranaceus* astragaloside IV in different growing stage in Longxi County, Gansu, *Gansu Nongye Yanjiu (Agricultural Research in the Arid Areas)*, 23(3): 174-176 (马世震, 陈志国, 李毅, 张鼎新, 马建民, 2005, 陇西栽培黄芪不同生长期甲甙含量变化研究, 干旱地区农业研究, 23(3): 174-176)
- Qin X.M., Li Z.Y., Sun H.F., Zhang L.Z., Zhou R., Feng Q.J., and Li A.P., 2013, Status and analysis of *Astragalus radix* resources in China, *Zhongguo Zhongyao Zazhi (Chinese Journal of Traditional Chinese Medicine)*, 38(19): 3234-3238 (秦雪梅, 李震宇, 孙海峰, 张丽增, 周然, 冯前进, 李安平, 2013, 我国黄芪药材资源现状与分析, 中国中药杂志, 38(19): 3234-3238)
- Wang D.D., Yan Y., Zhang F.S., Tian H.L., Du C.H., Qin X.M., and Ma C.G., 2018, Establishment for methods of fingerprint analysis and determination of index compounds on commercial *Polygala tenuifolia* by ultra performance liquid chromatography, *Zhongcaoyao (Chinese Traditional and Herbal Drugs)*, 49(5): 1150-1159 (王丹丹, 闫艳, 张福生, 田洪岭, 杜晨晖, 秦雪梅, 马存根, 2018, 远志药材 UPLC 指纹图谱及多指标性成分测定方法的建立, 中草药, 49(5): 1150-1159)
- Yan S., Xu J., Liu Z.P., Zhang K.X., Ren W.C., Liu X.B., Ma W., and Liu X.F., 2016, Effect of external factors on drying rate of astragalus plant, *Zhongyiyao Xinxin (Information on Traditional Chinese Medicine)*, 33(5): 20-23 (闫嵩, 徐姣, 刘振鹏, 张开雪, 任伟超, 刘秀波, 马伟, 刘雪峰, 2016, 外源影响因素对黄芪植株折干率的影响, 中医药信息, 33(5): 20-23)
- Yang M., 2008, Comprehensive principal components analysis on quality evaluation of *Radix astragali*, *Shuli Yiyaoxue Zazhi (Journal of Mathematical Medicine)*, 21(4): 474-476 (杨铭, 2008, 综合主成分分析用于黄芪药材的质量评价, 数理医药学杂志, 21(4): 474-476)
- Yao X.L., Pei C.Y., and Wang Z.Q., 2012, Determination of calycosin-7-O- β -D-glucoside and formononetin in crude drugs and slices of *Astragalus* from different habitats and gathering periods, *Yaowu Fenxi Zazhi (Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis)*, 32(5): 797-801 (姚雪莲, 裴彩云, 王宗权, 2012, 不同产地、不同采收期黄芪药材及饮片中毛蕊异黄酮葡萄糖苷及芒柄花素含量测定, 药物分析杂志, 32(5): 797-801)
- Zhang H.L., Zhao X.N., Shen Z., Yang X.L., Zhang Z.Y., and Li L.X., 2015, Effect of simultaneous depletion of MAG2 and MIP3 subunits of MAG2 complex on plant growth and development, *Jiyinzuxue Yu Yingyong Shengwuxue (Genomics and Applied Biology)*, 34(4): 674-679 (张海龙, 赵潇男, 申哲, 杨孝丽, 张忠阳, 李立新, 2015, MAG2 复合体 MAG2 和 MIP3 二亚基缺失对植物生长发育的影响, 基因组学与应用生物学, 34(4): 674-679)
- Zhang L.T., Guo B.L., Zhu S.C., and Feng G.Z., 2006, Investigation report of astragalus germplasm resources, *Zhongyaocai (Journal of Chinese Medicinal Materials)*, 29(8): 771-773 (张兰涛, 郭宝林, 朱顺昌, 冯国志, 2006, 黄芪种质资源调查报告, 中药材, 29(8): 771-773)
- Zhu Y., Mi X.C., and Ma K.P., 2009, A mechanism of plant species coexistence: the negative density-dependent hypothesis, *Shengwu Duoyangxing (Biodiversity Science)*, 17(6): 594-604 (祝燕, 米湘成, 马克平, 2009, 植物群落物种共存机制: 负密度制约假说, 生物多样性, 17(6): 594-604)