

# 移栽密度对蒙古黄芪生长发育及产量质量的影响

徐博琼<sup>1</sup>, 陈垣<sup>1,2\*</sup>, 郭凤霞<sup>1</sup>, 白德涛<sup>2</sup>, 周多旭<sup>1</sup>

(1. 甘肃农业大学农学院, 生命科学技术学院, 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 兰州 730070;  
2. 甘肃中天药业有限责任公司, 甘肃定西 748100)

**[摘要]** 目的: 黄芪是药食同源的重要中药材品种之一, 为了实现黄芪规范化栽培, 提高栽培成效, 在黄芪道地产区甘肃省陇西县试验基地行距 30 cm 条件下, 分别采用 8, 10, 12, 14, 16 cm 不同的株距栽培蒙古黄芪。方法: 通过测定返青株生长发育动态及药材产量和质量, 利用隶属函数综合评价, 旨在确定合理的移栽密度, 探寻规范的蒙古黄芪生产技术。结果: 在行距 30 cm 条件下, 移栽株距对蒙古黄芪的生长发育具有显著影响; 随着株距的增大, 蒙古黄芪地上部分生物量减小, 根冠比增大, 但单位面积药材产量下降, 药材外观性状随着移栽密度的减小有所改善。在株距 14 cm 的栽培密度下, 黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量均最高。株距 8~16 cm 栽培密度条件下, 黄芪药材浸出物含量均优于 2015 年版《中国药典》标准, 各株距处理综合评价指数依次为 14 cm > 16 cm > 10 cm > 8 cm > 12 cm。结论: 结合产量与经济效益综合评判, 最优移栽株距 30 cm × 14 cm (密度 23.81 万株/hm<sup>2</sup>), 该密度下蒙古黄芪生长发育健壮, 主茎较粗, 根冠比较大, 产量较高, 质量优异。

**[关键词]** 蒙古黄芪; 移栽密度; 生长发育; 药材产量和质量

**[中图分类号]** R282.2; S567.9; R289; R285; R22 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2020)02-0135-09

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20192315

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20190819.1009.003.html>

**[网络出版时间]** 2019-08-19 10:31

## Effect of Transplanting Densities on Growth, Development, Yield and Quality of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*

XU Bo-qiong<sup>1</sup>, CHEN Yuan<sup>1,2\*</sup>, GUO Feng-xia<sup>1</sup>, BAI De-tao<sup>2</sup>, ZHOU Duo-xu<sup>1</sup>

(1. Gansu Provincial Key Laboratory of Aridland Crop Science, College of Life Science and Technology, Agronomy College, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;  
2. Gansu Zhongtian Pharmaceutical Co. Ltd., Dingxi 748100, China)

**[Abstract]** **Objective:** Astragali Radix is an important medicinal and edible herb. To achieve standardized cultivation of Astragali Radix and improve cultivation results, *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* was cultivated with a row spacing of 30 cm and different plant spacing (8, 10, 12, 14, 16 cm) in a test base of Longxi County, Gansu Province. **Method:** The growth and development dynamics of green strains and the yield and quality of medicinal materials were measured, and the comprehensive evaluation of membership function was used to determine the rational transplanting density and explore the standard production technology of *A. membranaceus* var. *mongholicus*. **Result:** The transplanting topping had a significant effect on the growth and development of *A. membranaceus* var. *mongholicus* under the condition of the row spacing of 30 cm. With the

**[收稿日期]** 20190127(003)

**[基金项目]** 国家中医药管理局中药标准化建设项目(ZYBZH-Y-GS-11); 甘肃省科技支撑计划项目(1204FKCA123); 甘肃省高校协同创新科技团队支持计划项目(2016C-05); 甘肃省现代农业产业技术体系首席专家项目(GARS-ZYC-1); 甘肃农业大学学生科研训练计划项目

**[第一作者]** 徐博琼, 在读硕士, 从事蒙古黄芪质量标准研究, E-mail: 1054912854@qq.com

**[通信作者]** \* 陈垣, 教授, 博士生导师, 从事药用植物资源与利用研究, E-mail: cygex1963@163.com

increase of topping, the biomass of astragalus on the ground decreased, and the ratio of root to shoot increased, but the yield of medicinal material per unit area decreased. The appearance traits were improved as the transplant density decreased. Under the row spacing of 14 cm, the content of astragaloside and calycosin-7-glucoside were the highest. Under the row spacing of 8-16 cm, the content of root extract of *Astragali Radix* was better than the *Chinese Pharmacopoeia* standard. The comprehensive evaluation index of each plant spacing treatment was 14 cm > 16 cm > 10 cm > 8 cm > 12 cm in turn. **Conclusion:** Combined with the comprehensive evaluation of yield and economic benefit, the optimal transplanting plant spacing and row spacing were 30 cm × 14 cm (with the density of 238 100 strains/hm<sup>2</sup>). Under this density, *A. membranaceus* var. *mongholicus* grows vigorously, with thick stems, big root crowns, a high yield and high quality.

**[Key words]** *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*; transplant density; growth and development; officinal yield and quality

黄芪为豆科多年生草本药用植物蒙古黄芪 *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* 或膜荚黄芪 *A. membranaceus* 的干燥根<sup>[1]</sup>, 具有增强免疫、降血糖、抗肿瘤、抗疲劳、抗菌等多种作用<sup>[2-5]</sup>, 主产于内蒙古、甘肃、山西、陕西、黑龙江等地。野生黄芪已趋濒危, 已归入国家三级保护植物, 黄芪药材现主要来源于人工栽培<sup>[6]</sup>。膜荚黄芪引种栽培后外观性状差, 产量不稳定, 大多数产区均以蒙古黄芪为主栽品种<sup>[7]</sup>。随着中药现代化的发展, 黄芪已纳入药食同源目录, 黄芪需求量逐年增大, 甘肃省陇西县一带因土质及气候资源适宜栽培黄芪, 种植面积大, 质量优异, 2001 年被中国特产之乡委员会推荐为“中国黄芪之乡”。

蒙古黄芪道地产区沿袭传统方法栽培, 仅凭借经验随意摆放种苗, 行距约 30 cm, 株距则不规范, 由于缺乏合理的栽培技术, 且田间管理无序不统一, 导致黄芪产量和质量参差不齐。规模化和机械化栽培是中药现代化和产业化发展的必然趋势, 移栽密度是影响药材产量和质量的重要因素, 机械化可实现精准的株行距定植, 实现理想的移栽密度。栽培密度对农作物和中药材的生产效益有着巨大影响, 矮秆品种玉米在高密度下具有较好的抗倒伏性能, 稳产性也强<sup>[8]</sup>。适当增加油菜种植密度可以减小倒伏指数, 提高抗裂角性<sup>[9]</sup>。适宜密度可提高红芪产量, 确保药材质量<sup>[10]</sup>。查阅文献, 初冬移栽较春季移栽黄芪药材产量更高, 质量更为优异<sup>[11]</sup>。在保证种苗个体质量和单位面积产苗数的前提下, 播种量 150 kg·hm<sup>-2</sup> 条件下覆膜穴播育成蒙古黄芪种苗综合指标优异, 单位面积优质种苗成苗数最多<sup>[12]</sup>。前人研究对蒙古黄芪移栽期的选择及规范化播种起到积极作用, 但至今对甘肃地道药材蒙古黄芪移栽密度的研究尚少见报道, 因此, 在道地产区对地道药

材蒙古黄芪移栽密度的深入系统研究具有重要意义, 为蒙古黄芪规范化栽培和机械化生产提供科学和技术依据。本试验在行距 30 cm 条件下, 分别采用 8, 10, 12, 14, 16 cm 不同的株距栽培蒙古黄芪, 通过测定返青株生长发育动态及药材产量和质量, 利用隶属函数综合评价, 旨在确定合理的移栽密度, 探寻规范的蒙古黄芪生产技术。

## 1 材料

**1.1 种苗** 蒙古黄芪种苗来源于 2016 年 4 月在甘肃省陇西县首阳镇三十里铺村播种育苗, 2017 年 4 月采挖的一年生苗栽, 由甘肃农业大学农学院中草药栽培与鉴定系陈垣教授鉴定, 苗栽采挖后, 去除大苗和小苗, 预留苗栽大小基本一致的中等苗栽备用。下列不同密度成药移栽试验, 种苗平均根长 (32.60 ± 6.24) cm, 根粗 (0.55 ± 0.12) cm, 单根重 (4.71 ± 2.75) g。

**1.2 试验区概况** 蒙古黄芪成药栽培试验区位于甘肃省定西市陇西县双泉乡 (E104°25'3"N35°7'50"), 属温带大陆性季风气候, 四季分明, 光照充足, 气候温和。海拔 1 918.7 m, 年平均降水量 400 mm, 蒸发量 1 400 mm, 平均气温 8 °C, 无霜期 130 d 左右, 属于典型的黄芪道地产区。试验地前茬作物为党参, 前茬作物生长整齐, 土质均匀, 土壤为黄黏土, 土壤 pH 7.95, 有机质 10.14 g·kg<sup>-1</sup>, 全氮 1.2 g·kg<sup>-1</sup>, 有效氮 64.0 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效磷 16.3 mg·kg<sup>-1</sup>, 速效钾 96 mg·kg<sup>-1</sup>。地块土层深厚、疏松、排灌良好。

**1.3 试验设计** 蒙古黄芪成药栽培移栽密度试验采用单因素随机区组设计, 密度因素分为五水平, 即在 2016 年党参茬口基础上, 2017 年将试验地按走向划分为 3 个区组 (3 次重复), 每个区组划分为 5 个小区, 随机实施 5 个密度行距处理。小区面积为

2.7 × 2.5 m<sup>2</sup>, 小区间距 30 cm, 每小区移栽 9 行, 行距 30 cm, 株距分别为 8, 10, 12, 14, 16 cm (折合密度分别为 41.67, 33.33, 27.78, 23.81, 20.83 万株/hm<sup>2</sup>) 采用露地沟栽法, 其他施肥和管理同大田, 播种前统一施用底肥 (N 60 kg · hm<sup>-2</sup>, P 90 kg · hm<sup>-2</sup>, K 60 kg · hm<sup>-2</sup>), 生长期不追肥, 全生育期除草 5 次, 由于 2017 年 7 月干旱严重, 与大田同期灌水 1 次, 灌水量与大田一致。

**1.4 仪器与试剂** 单根重采用电子称 (1/100 g) 测定, 根长采用卷尺测定, 根粗采用数显游标卡尺 (上海九量五金工具有限公司, 0 ~ 150 mm) 测定距头部 1 cm 处主根直径。

QE-200 型高速粉碎机 (浙江屹立工贸有限公司), FZ102 微型植物试样粉碎机 (上海科恒实业发展有限公司), DK-98-II 型电热恒温水浴锅 (天津市泰斯特仪器有限公司), RE-3000 型旋转蒸发器 (上海亚荣生化仪器厂), KQ5200DE 型数字超声波清洗器 (昆山市超声仪器有限公司), AKCD-UV-1850 型艾柯实验室超纯水机 (成都唐氏康宁科技发展有限公司), AL-204 型电子天平 (瑞士梅特勒-托利多公司), LC Solution 15C 型高效液相色谱仪 (日本岛津仪器公司), Agilent E-clipse XDB-C<sub>18</sub> 色谱柱 (4.6 mm × 250 mm, 5 μm)。

黄芪甲苷、毛蕊异黄酮葡萄糖苷对照品 (中国食品药品检定研究院, 批号 110781-201717, 111920-201505, 纯度 96.9%, 97.1%)。乙腈、甲醇 [色谱纯, 赛默飞世尔科技 (中国) 科技有限公司], 其他试剂均为分析纯。

## 2 方法

**2.1 生长发育动态测定** 蒙古黄芪成药栽培试验于 2017 年 4 月 14 日进行苗栽移栽, 返青后在各试验小区随机选取返青一致的植株 10 株挂牌标记, 从 5 月 16 日开始定期定株测定地上部生长发育指标, 包括株高、株幅、茎粗、一级分枝等, 直至植株开始落黄时为止。株高和株幅采用卷尺测定, 茎粗测定距离地面 1 cm 处主茎直径, 采用数显游标卡尺测定。

**2.2 生物量和产量测定** 2017 年 11 月 12 日药材采挖期, 按各重复区组中各处理小区依次采挖, 采挖后分别计地上与地下鲜生物量。并测定标记个体指标, 包括植株茎秆长, 茎秆重, 根长, 根粗, 单根重, 侧根数, 病级等外观质量和产量性状指标。

**2.3 蒙古黄芪药材质量测定** 按照 2015 年版《中国药典》一部<sup>[1]</sup>中规定的黄芪质量检测项对各处理

小区药材总灰分、浸出物、黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量进行测定。总灰分及浸出物的测定分别按照 2015 年版《中国药典》四部<sup>[1]</sup>通则 2302 总灰分测定法, 2201 水溶性浸出物测定方法。含量按照高效液相色谱法通则 0512, 参照 2015 年版《中国药典》一部<sup>[1]</sup>中黄芪甲苷、毛蕊异黄酮葡萄糖苷测定方法。

**2.4 统计分析** 采用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理和 *t* 检验, 采用 SPSS 22.0 统计软件进行方差分析、相关性分析和主成分分析, 采用隶属函数法综合评判。多重比较采用 Duncan 法。

蒙古黄芪药材综合评价方法参照金彦博等<sup>[13]</sup>方法进行, 即首先在主成分分析基础上取初始特征 > 1 的各指标主成分值, 计算各指标的权重 (*W<sub>j</sub>*), 然后计算隶属函数值, 最后估算综合指数 comprehensive index (CI)。

$$W_j = \sum (Cl, j \times VPI) / \sum \sum (Cl, j \times VPI)$$

$$R(X_{ij}) = (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$$

$$RR(X_{ij}) = 1 - (X_{ij} - X_{jmin}) / (X_{jmax} - X_{jmin})$$

$$CI_i = \sum [R(X_{ij}) \times W_j]$$

式中, *Cl, j* 表示第 *j* 个指标的第 *l* 主成分值, *VPI* 表示第 *l* 主成分方差的百分率, *W<sub>j</sub>* 表示第 *j* 个指标的权重值。 *i* 表示不同移栽密度, *j* 表示测定指标。 *R(X<sub>ij</sub>)* 表示 *i* 移栽密度 *j* 指标的隶属函数值, *RR(X<sub>ij</sub>)* 表示 *i* 移栽密度 *j* 指标的反隶属函数值; *X<sub>ij</sub>* 表示 *i* 移栽密度 *j* 指标的平均观测值; *X<sub>jmin</sub>* 表示所有移栽密度 *j* 指标的最小值; *X<sub>jmax</sub>* 所有移栽密度 *j* 指标的最大值。 *CI<sub>i</sub>* 为第 *i* 移栽密度 *j* 个指标的累计综合指数。

## 3 结果与分析

**3.1 不同移栽密度对蒙古黄芪生长发育动态的影响** 蒙古黄芪移栽返青后植株生长发育动态呈 S 型曲线生长。6 月中旬前蒙古黄芪主要进行营养生长, 植株高度和株幅均随生长发育进程的递进呈直线增长, 随栽培株距的加大, 即密度的减小, 生长发育指标有增大趋势, 见图 1。6 月 16 日显示, 行距 30 cm, 株距 14 cm 栽培条件下植株最高, 株幅最大, 一级分支数最多, 而株距 8 cm 条件下植株最矮, 株幅最小, 一级分枝最少。6 月至 8 月蒙古黄芪植株进入生殖生长期, 地上部生长发育指标趋于减缓, 处于相对稳定状态, 但株距 14 ~ 16 cm, 即栽培密度相对小的条件下植株仍有增长趋势。7 月至 8 月上旬气温干热, 地上部生长基本停止, 随着 8 月降雨天数增加, 种子成熟落荚, 地上部生长有所恢复, 生长后

期株高、株幅有所增大。进入 9 月中旬,各行距移栽条件下蒙古黄芪地上部生长发育均达到最大值并开始落黄,进入地下药材根干物质积累与转化期。图 1 还显示,不同移栽密度下,蒙古黄芪茎粗、株幅和分枝数均随生长发育的延长各株距间的差异性增大,增大趋势依次为株距 16 cm > 14 cm > 12 cm > 10 cm > 8 cm。不同移栽密度对蒙古黄芪生长指标均有极显著影响( $P < 0.01$ ),影响程度随株距、生长季节和生长指标的不同而异,各处理的株高( $F = 15.795$ ),株幅( $F = 25.683$ ),茎粗( $F = 29.954$ )和

分枝数( $F = 11.961$ )在各月间的差异性均达到极显著水平( $P < 0.01$ ),而株高、株幅和分枝数在 6 月后各处理的差异显著性才表现出来( $P < 0.05$ )。至 9 月 18 日移栽密度 14 cm × 30 cm 条件下蒙古黄芪株幅最大,一级分枝数与株距 16 cm × 30 cm 条件下相同,两指标在株距 14 cm 和 16 cm 两种密度处理间的差异性均不显著,但株幅较 8 cm × 30 cm 的水平分别显著提高( $t = 3.655, P < 0.05$ ;  $t = 2.913, P < 0.05$ ),分枝数也均极显著增大( $t = 3.000, P < 0.05$ ;  $t = 2.756, P < 0.05$ )。

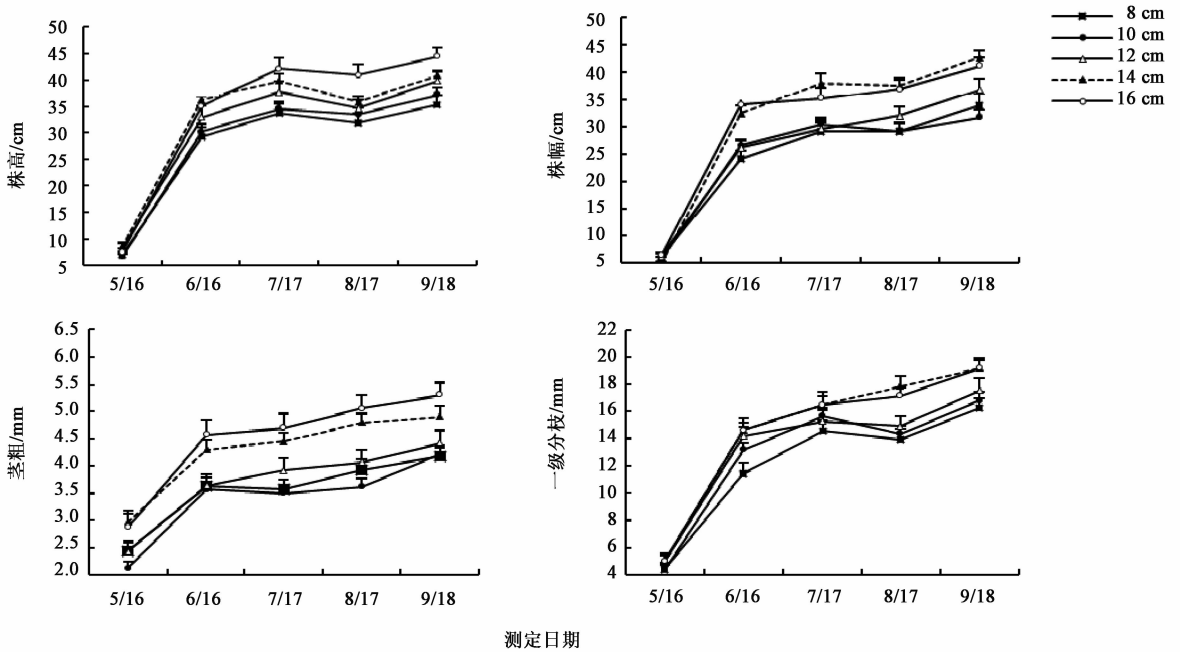


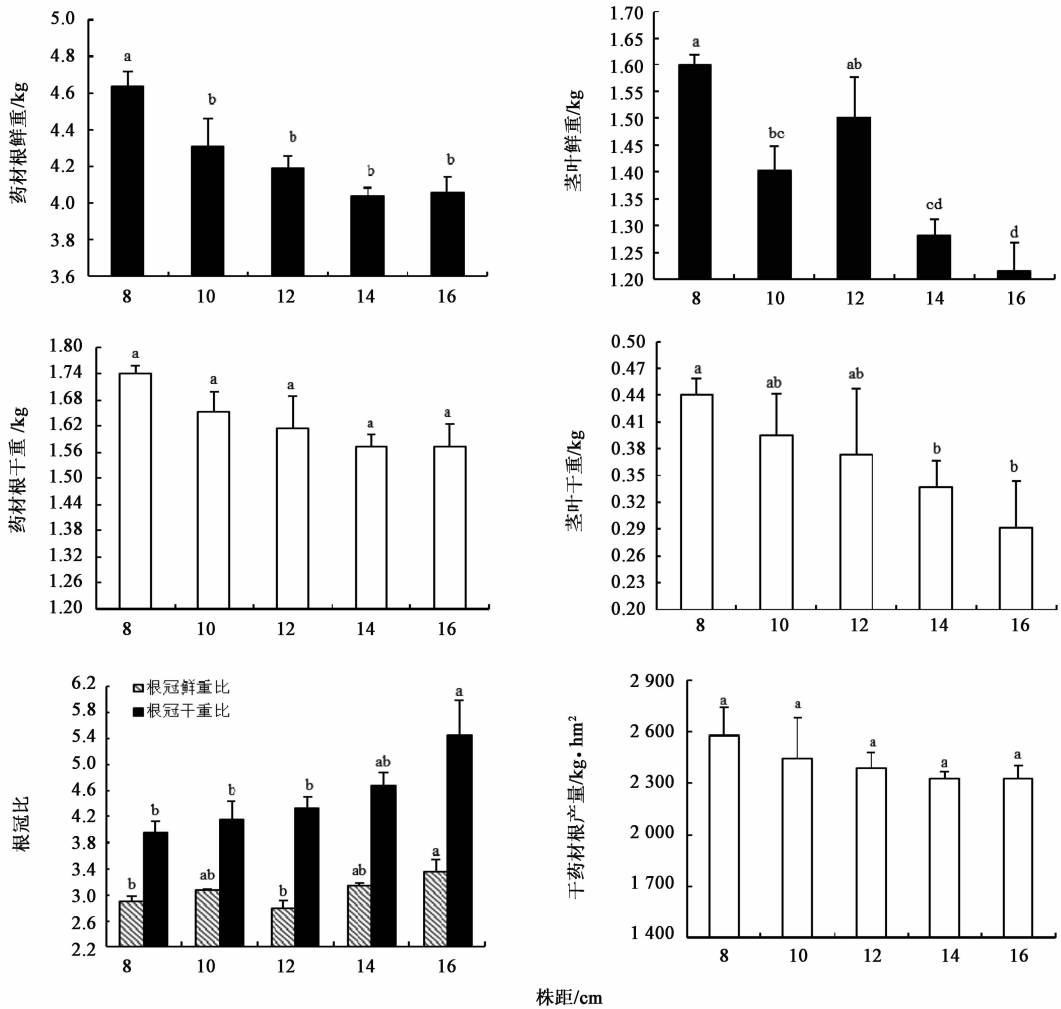
图 1 行距 30 cm 不同株距移栽蒙古黄芪植株生长发育动态变化 ( $n = 30$ )

Fig.1 Dynamic changes of growth and development of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* plants transplanted with various plant distance under 30 cm of row space conditions ( $n = 30$ )

**3.2 不同移栽密度对蒙古黄芪生长发育和单位面积产量的影响** 移栽密度对蒙古黄芪单位面积产量有一定影响。药材采收后各重复小区计产结果表明,当行距一定,移栽株距最小时,黄芪药材根鲜产量和地上部分茎叶鲜产量均显著提高( $P < 0.05$ )且达到最大值,蒙古黄芪药材根干产量和地上部分茎叶干产量排序均为 8 cm > 10 cm > 12 cm > 14 cm > 16 cm。由此可知随着移栽密度的逐渐增大,蒙古黄芪药材的单位面积产量逐渐增加。不同移栽株距蒙古黄芪地上鲜生物量平均值排序依次为 8 cm > 12 cm > 10 cm > 14 cm > 16 cm,其根冠鲜重比计算结果为 2.898, 3.073, 2.800, 3.147 和 3.354;根冠干重比计算结果分别为 3.628, 3.664, 4.248, 4.315 和 4.433,当移栽株距等于 16 cm 时,根冠鲜重比和根

冠干重比均达到最大值,与株距等于 8 cm 相比较,根冠鲜重比增加 15.73% ( $t = 2.248, P < 0.05$ ),根冠干重比增加 22.19% ( $t = 2.670, P < 0.05$ )。这是由于栽培密度较高时,植株下部叶片光照不足,产生的光合物质较少,所以根也较小,根冠比变小。这说明一定条件下,适当减小蒙古黄芪移栽密度,可以显著增加蒙古黄芪的根冠比,促进药材根的生长发育及药材优异性。不同移栽密度条件下,蒙古黄芪产量(干重)间随着移栽密度的减小而减小,但各处理下产量差异性未达到显著水平( $F = 0.532, P > 0.05$ )。见图 2。

**3.3 不同移栽密度对蒙古黄芪药材外观性状指标的影响** 药材采挖后测定结果显示,随着移栽密度的减小,蒙古黄芪药材的根长极显著增大( $P <$



不同小写字母表示有显著性差异(图 3 同)

图 2 移栽密度对蒙古黄芪植株生长发育和单位面积产量的影响 ( $n = 30$ )

Fig. 2 Effect of transplanting density on population growth, development and yield per unit area of *A. membranaceus* var. *mongholicus* plants ( $n = 30$ )

0.01), 单根重极显著增加 ( $P < 0.01$ ), 根产量显著提高 ( $P < 0.01$ )。根粗从大到小依次为株距 16 cm > 14 cm > 12 cm > 10 cm > 8 cm, 且株距 > 12 cm 时, 蒙古黄芪的根粗显著增加 ( $P < 0.05$ )。

不同处理下, 株距 14 cm 条件下黄芪药材的病斑指数最小。说明适宜条件下增加蒙古黄芪移栽株距, 即减小移栽密度, 有利于增大黄芪的根长、根粗、单根重等个体质量指标, 增加药材的外观质量。见表 1。

表 1 不同移栽密度对黄芪药材外观性状指标的影响

Table 1 Effect of different transplanting densities on appearance character indexes of *Astragalus Radix*

移栽密度/cm	根长	根粗	侧根数	单根重	病斑指数
8	40.60 ± 0.58 <sup>dC</sup>	8.31 ± 0.29 <sup>dC</sup>	5.4 ± 1.0 <sup>aA</sup>	11.55 ± 0.63 <sup>eE</sup>	0.70 ± 0.30 <sup>aA</sup>
10	42.44 ± 0.62 <sup>cC</sup>	8.66 ± 0.18 <sup>cdBC</sup>	5.2 ± 0.5 <sup>aA</sup>	13.18 ± 0.53 <sup>dD</sup>	0.60 ± 0.36 <sup>aA</sup>
12	44.63 ± 1.25 <sup>bB</sup>	8.95 ± 0.14 <sup>cA</sup>	5.4 ± 1.1 <sup>aA</sup>	14.70 ± 0.52 <sup>cC</sup>	1.00 ± 0.17 <sup>aA</sup>
14	47.51 ± 1.25 <sup>aA</sup>	9.53 ± 0.14 <sup>bA</sup>	5.4 ± 1.1 <sup>aA</sup>	16.29 ± 0.52 <sup>bB</sup>	0.60 ± 0.17 <sup>aA</sup>
16	48.70 ± 0.75 <sup>aA</sup>	9.99 ± 0.29 <sup>aA</sup>	5.8 ± 1.3 <sup>aA</sup>	18.51 ± 0.57 <sup>aA</sup>	0.63 ± 0.46 <sup>aA</sup>

注: 同一列不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 不同大写字母表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。

**3.4 不同移栽密度蒙古黄芪性状指标与产量相关性分析** 不同移栽密度蒙古黄芪个体性状指标与产量相关性分析表明,茎秆长与茎秆重、根长、根粗和单根重成极显著正相关( $P < 0.01$ )。茎秆重与根长、根粗、单根重及根茎干重比呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与根茎鲜重比成显著正相关( $P <$

0.05)。根长与根粗、单根重呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与根茎干重比成显著正相关( $P < 0.05$ )。根粗与单根重、根茎干重比呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),单根重和根茎干重比成极显著正相关( $P < 0.01$ ),根茎鲜重比与根茎干重比成极显著正相关( $P < 0.01$ )。见表 2。

表 2 不同移栽密度蒙古黄芪性状指标与药材产量的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of indicators and yield of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* cultivated under different densities

指标	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9
X2	0.743 <sup>2)</sup>								
X3	0.851 <sup>2)</sup>	0.800 <sup>2)</sup>							
X4	0.800 <sup>2)</sup>	0.861 <sup>2)</sup>	0.924 <sup>2)</sup>						
X5	0.465	0.273	0.193	0.182					
X6	0.811 <sup>2)</sup>	0.872 <sup>2)</sup>	0.924 <sup>2)</sup>	0.976 <sup>2)</sup>	0.156				
X7	-0.298	-0.180	-0.079	-0.112	-0.259	-0.104			
X8	0.193	0.573 <sup>1)</sup>	0.408	0.515 <sup>1)</sup>	0.001	0.505	-0.019		
X9	0.385	0.709 <sup>2)</sup>	0.631 <sup>1)</sup>	0.715 <sup>2)</sup>	0.135	0.706 <sup>2)</sup>	0.168	0.783 <sup>2)</sup>	
X10	-0.190	-0.240	-0.390	-0.341	0.031	-0.275	-0.093	-0.073	0.047

注:<sup>1)</sup> $P < 0.05$ ,<sup>2)</sup> $P < 0.01$ 。X1. 茎秆长;X2. 茎秆重;X3. 根长;X4. 根粗;X5. 侧根数;X6. 单根重;X7. 病斑指数;X8. 根茎鲜重比;X9. 根茎干重比;X10. 产量。

**3.5 不同移栽密度对蒙古黄芪药材质量的影响** 在行距 30 cm 条件下,移栽株距对蒙古黄芪药材质量具有一定影响,影响程度随株距不同而异。图 3 显示,总灰分、浸出物随着移栽株距的增大,其含量相对稳定,均符合 2015 年版《中国药典》规定[总灰分不得过 5.0%,浸出物不得少于 17.0%,黄芪甲苷( $C_{41}H_{68}O_{14}$ )不得少于 0.040%;毛蕊异黄酮葡萄糖苷( $C_{22}H_{22}O_{10}$ )不得少于 0.020%],这说明移栽密度对蒙古黄芪药材灰分、浸出物影响较小,各处理间无显著性差异( $P > 0.05$ )。但蒙古黄芪有效成分(黄芪甲苷、毛蕊异黄酮葡萄糖苷)的含量柱形图变化趋势看出,株距 14 cm 条件下黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷的含量最高,分别与最小移栽株距 8 cm 和最大移栽株距 16 cm 有显著差异( $P < 0.05$ ),其中黄芪甲苷含量分别增加 23.4% 和 9.4%,毛蕊异黄酮葡萄糖苷分别增加 5.6% 和 13.6%。这表明在行距不变,适当增大蒙古黄芪的移栽株距,更有利于蒙古黄芪药材有效成分的积累和提高中药材蒙古黄芪的药用品质。

**3.6 不同移栽密度蒙古黄芪苗栽质量性状的综合分析** 基于不同移栽密度蒙古黄芪质量性状及产量主成分分析表明,特征值  $> 1$  的主成分 1~4,其贡献率分别为 37.65%, 15.88%, 13.18% 和 11.81%,

累计贡献率达 78.52%。故提取 1~4 主成分矩阵值与各特征值的贡献率计算各指标的权重值,再计算不同移栽密度蒙古黄芪各指标的隶属函数值。根据各指标隶属函数值与权重值,通过加乘法则进行合成运算得到各移栽密度综合指数,并依据大小进行排序,见表 3。同移栽密度下蒙古黄芪药材综合指数按移栽株距从小到大分别为 0.451 7, 0.542 0, 0.348 7, 0.726 9, 0.597 8, 综合排序依次为 14 cm  $>$  16 cm  $>$  10 cm  $>$  8 cm  $>$  12 cm。分析结果可知,蒙古黄芪药材采收后株距等于 14 cm(23.81 万株/hm<sup>2</sup>) 和 16 cm(20.83 万株/hm<sup>2</sup>) 药材综合因子及药材有效成分较优异,说明低密度移栽条件下有利于蒙古黄芪外观质量性状的提高和有效成分的积累。综合当地药材市场售价和经济效益因素得出,株距等于 14 cm 条件下蒙古黄芪药材商品性最佳。见表 4。

#### 4 讨论

**4.1 不同移栽密度对蒙古黄芪生长发育有显著影响** 密度是影响蒙古黄芪生长发育及产量的重要因子,对调控蒙古黄芪产量构成的肥、水、光、温等诸多因素起关键作用<sup>[14]</sup>。适宜的移栽密度能够发挥作物的个体潜能和群体优势<sup>[15]</sup>。移栽时密度不同,每株植物所拥有的平均营养空间不同,导致植物个体发育上的差异,会直接影响作物产量和质量,从而影

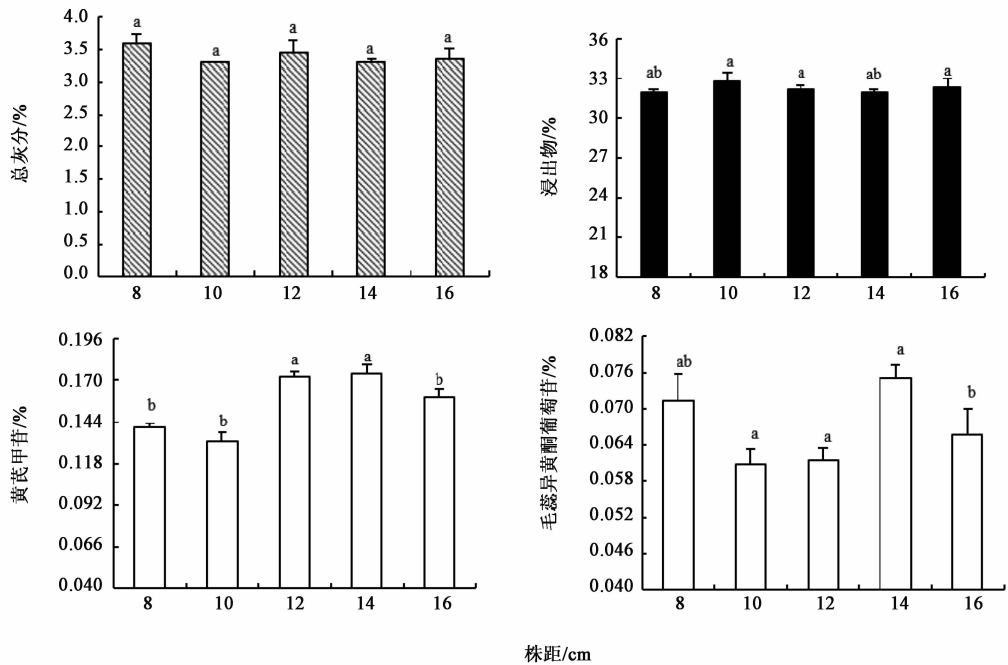


图 3 不同移栽密度对蒙古黄芪药材质量的影响

Fig. 3 Effect of transplanting densities on quality of Astragali Radix

表 3 蒙古黄芪药材质量性状与产量的主成分和权重分析

Table 3 Analysis of main components and weights of quality traits and yield of Astragali Radix

指标	主成分				权重值
	1	2	3	4	
根长	0.918 9	0.191 1	0.231 1	0.094 7	0.067 2
根粗	0.977 5	0.045 6	0.048 6	0.040 2	0.045 3
侧根数	0.211 4	0.703 3	0.399 5	0.041 7	0.075 0
单根重	0.959 8	0.066 4	0.118 4	0.067 0	0.052 5
病斑指数	0.070 0	0.501 0	0.134 2	0.376 9	0.067 6
水分	0.168 0	0.186 8	0.707 9	0.563 0	0.107 1
总灰	0.312 1	0.754 3	0.303 2	0.316 7	0.096 6
浸出物	0.680 6	0.588 2	0.017 0	0.072 2	0.063 5
黄芪甲苷	0.138 7	0.330 1	0.681 8	0.328 6	0.093 6
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	0.456 4	0.415 5	0.129 7	0.351 7	0.075 2
根茎鲜重比	0.699 6	0.017 6	0.577 1	0.286 9	0.087 7
根茎干重比	0.804 8	0.115 9	0.206 8	0.421 0	0.082 8
产量	0.413 0	0.173 4	0.121 7	0.680 6	0.085 8
特征值	4.894 9	2.063 8	1.713 1	1.535 8	
贡献率/%	37.652 9	15.875 4	13.177 6	11.813 9	
累计贡献率/%	37.652 9	53.528 4	66.706 0	78.519 9	

表 4 蒙古黄芪药材性状指标隶属度值及综合评价指数

Table 4 Subordination value of medicinal materials characteristic indicators and comprehensive evaluation index of Astragali Radix

指标	行距 30 cm 不同移栽株距/cm				
	8	10	12	14	16
根长	0.000 0	0.015 3	0.033 5	0.057 4	0.067 2
根粗	0.000 0	0.009 4	0.017 3	0.032 9	0.045 3
侧根数	0.041 7	0.075 0	0.045 9	0.041 7	0.000 0
单根重	0.000 0	0.012 2	0.023 7	0.035 8	0.052 5
病斑指数	0.050 7	0.067 6	0.000 0	0.067 6	0.061 9
水分	0.107 1	0.107 1	0.000 0	0.091 8	0.042 1
总灰	0.000 0	0.096 6	0.048 3	0.096 6	0.096 6
浸出物	0.040 0	0.063 5	0.045 6	0.040 0	0.000 0
黄芪甲苷	0.018 9	0.000 0	0.089 1	0.093 6	0.008 9
毛蕊异黄酮葡萄糖苷	0.056 0	0.000 0	0.003 5	0.075 2	0.052 5
根茎鲜重比	0.015 6	0.043 1	0.000 0	0.054 9	0.087 7
根茎干重比	0.000 0	0.011 8	0.020 8	0.039 5	0.082 8
产量	0.085 8	0.040 3	0.021 1	0.000 0	0.000 2
综合指数	0.415 7	0.542 0	0.348 7	0.726 9	0.597 8
综合排序	4	3	5	1	2

响经济效益<sup>[16]</sup>。蒙古黄芪植株的株高、株幅、茎粗和一级分枝是反映其生长趋势的最直观指标,也是

重要的农艺性状。在行距一定条件下,适宜密度有利于提高红芪根茎比。随着密度的增大,红芪群

体产量提高,但药材单根产量显著降低<sup>[10]</sup>。本试验结果显示,蒙古黄芪苗栽返青出苗期,黄芪地上部分生长迅速,生长发育状况随移栽密度的减小而加快。现蕾开花期和根茎生长期由于高温干旱的天气原因致使生长发育速度减缓甚至停滞。生长发育期内,各指标生长曲线均呈“先快后慢”变化趋势。表明蒙古黄芪营养生长期地上部分生长发育较为显著。研究表明株行距为(30~50) cm×50 cm 低播种密度下单个植株的光照、水肥等条件较好,有利于金荞麦的分枝,从而株高受限制;株行距(10~30) cm×50 cm 高播种密度下,在对光热的竞争中,植株高的金荞麦占优势,从而分枝受限制<sup>[17]</sup>。本试验的结果也证实了该结论,随着移栽密度的减小,蒙古黄芪植株株高、茎粗增大且各处理均表现出极显著增高( $P<0.01$ ),这是由于密度越小,蒙古黄芪单个植株生长空间较大,植株个体土、肥、水、光、气、热等资源充足,黄芪植株最大化制造和积累养分,株体抗逆性和抗病得到提高,生长发育较好。

**4.2 合理增大移栽密度可以提高蒙古黄芪单位面积产量和药用品质** 药用植物的外观性状直接关系到中药的品质及其临床疗效,品质的形成不仅与药材本身的遗传因素有关,更与生态环境和人工栽培措施有关;适宜的增加产量可以促进药材的经济效益,生产上可通过采用适当的栽培措施来改善和提高药用植物的产量和药用品质<sup>[18]</sup>。有研究表明同一播种日期下,15 cm 和 20 cm 的株距比 35 cm 株距产生更高的根产量,但甜菜的品质欠佳<sup>[19]</sup>。前人研究发现,在行距为宽窄行 40/20 cm,株距为 30 cm 条件下,知母(*Anemarrhena asphodeloides*)植株生长发育健壮,个体质量指标最佳<sup>[20]</sup>。相关研究表明增加密度不能达到中药材牛蒡(*Burdock*)高产。在密度 9 万株·hm<sup>-2</sup>下,牛蒡高度适中,叶面积系数长效稳定,地上部分营养较好地满足地下部分的需求,群体的生产能力良好持久,产量最高<sup>[21]</sup>。通过对蒙古黄芪各个生长指标的综合评价与经济效益研究发现,行距 30 cm 不变,移栽株距为 14 cm 时,黄芪药材单位面积产量和品质最高。相关分析表明,移栽密度对蒙古黄芪药材个体质量构成因素的影响主要体现在茎秆重、茎秆长、根长、根粗、单根重、根茎比等指标。随着移栽密度的逐渐减小,黄芪药材单位面积产量有所减少,但黄芪药材质量指标性状表现越佳且根冠比显著增大。分析其原因,密度过大虽然可以提高蒙古黄芪单位面积的药材产量,但使蒙古黄芪地上部分覆盖紧密,植株光合作用受到影响,不利

于干物质积累,而且密度过大使得单位面积的植株数增多,从而导致单位面积肥力供应不足,植株生长发育受阻,药材的有效成分含量降低,药用品质欠佳。

综合考虑黄芪产量、药材外观性状与药材品质,蒙古黄芪苗栽最佳移栽密度行距×株距为 30 cm×14 cm。该移栽密度条件下黄芪的植株生长发育健壮,主茎较粗,药材外观性状最佳,主根长,根粗壮,药材单根重,产量和品质综合指标达到最优化。

[致谢]甘肃省天士力中天药业有限公司赵小强参与田间管理,陈建雷提供测试帮助。2018 届硕士生袁洪超在论文数据整理中提供帮助,陇西县巩昌镇园艺村郭志军、郭太平及马建雄参与试验地药材采挖。

#### [参考文献]

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:302.
- [2] 于玲,王知斌,王秋红,等. 黄芪中黄酮类化合物药理作用研究进展[J]. 中医药信息,2018,35(2):104-108.
- [3] 李钦,胡继宏,高博,等. 黄芪多糖在免疫调节方面的最新研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志,2017,23(2):199-206.
- [4] 尤良震,林逸轩,方朝晖,等. 黄芪甲苷治疗糖尿病及其并发症药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志,2017,42(24):4700-4706.
- [5] MA Y H, LIU C Y, QU D, et al. Antibacterial evaluation of silver nanoparticles synthesized by polysaccharides from *Astragalus membranaceus* roots [J]. Biomed Pharmacother,2017,89:351-357.
- [6] 秦雪梅,李震宇,孙海峰,等. 我国黄芪药材资源现状与分析[J]. 中国中药杂志,2013,38(19):3234-3238.
- [7] 姬丽君,席旭东,晋小军. 蒙古黄芪物候期研究[J]. 草业学报,2013,22(1):60-67.
- [8] 任佰朝,李利利,董树亭,等. 种植密度对不同株高夏玉米品种茎秆性状与抗倒伏能力的影响[J]. 作物学报,2016,42(12):1864-1872.
- [9] 李小勇,周敏,王涛,等. 种植密度对油菜机械收获关键性状的影响[J]. 作物学报,2018,44(2):278-287.
- [10] 赵锐明,孙连虎,郭凤霞,等. 移栽密度对红芪生长发育及药材产量和质量的影响[J]. 草业学报,2014,23(3):167-174.
- [11] 陈垣,李军贤,郭凤霞,等. 移栽期对蒙古黄芪(*Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*)药材产量和质量的影响[J]. 中国沙漠,2016,36(2):406-414.
- [12] 米永伟,蔡子平,武伟国,等. 播种量和方式对甘肃渭源蒙古黄芪育苗质量和产量的影响[J]. 草业学报,



- 2016, 25(7):196-202.
- [13] 金彦博,郭凤霞,陈垣,等. 岷县不同茬口对当归苗栽生长及抗病性的影响[J]. 草业学报, 2018, 27(4): 69-78.
- [14] 王楷,王克如,王永宏,等. 密度对玉米产量( $>15\ 000\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )及其产量构成因子的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(16):3437-3445.
- [15] YAN P, CHEN Y, SUI P, et al. Effect of maize plant morphology on the formation of apical kernels at different sowing dates and under different plant densities [J]. Field Crops Res, 2018, 223:83-92.
- [16] 张倩,张洪生,宋希云,等. 种植方式和密度对夏玉米光合特征及产量的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(4): 1235-1241.
- [17] 赵明勇,阮培均,王孝华,等. 不同播种密度对药用植物金荞麦产量及品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2013, 8(16):22-24.
- [18] 郭巧生. 药用植物栽培学[M]. 北京:高等教育出版社, 2009:51.
- [19] Tahsin S, Halis A. Plant density and sowing date effects on Sugarbeet yield and quality [J]. J Agronomy, 2004, 3(3):215-218.
- [20] 马春英,张永升,侯俊玲,等. 移栽密度对知母生长性状及药用活性成分含量的影响[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(6):106-110.
- [21] 冯营,胡新燕,孙亚伟,等. 种植密度对徐淮地区牛蒡产量与品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(10):66-67.
- [责任编辑 顾雪竹]

· 喜讯 ·



第四届中国科协优秀科技论文遴选计划

论文人选通知书

中国实验方剂学杂志

你刊刘德文负责编辑,发表于 2018 年第 24 卷第 8 期的《基于标准汤剂的中药整体质量控制模式探讨》在“第四届中国科协优秀科技论文遴选计划”中被评为优秀论文。特发此证。

