



肥料类型对盐碱地蒙古黄芪生长与光合特征及药材产量和品质的影响

刘 杰¹, 张雄杰², 盛晋华^{1*}, 霍秉新³, 贾长松³

(1 内蒙古农业大学 农学院, 呼和浩特 010019; 2 内蒙古天際绿洲特色生物资源研发中心, 呼和浩特 010018; 3 内蒙古天衡制药有限公司, 内蒙古巴彦淖尔 014400)

摘 要:以一年生蒙古黄芪种苗为材料, 在盐碱地探究二年生蒙古黄芪根系产量和药效成分对不同肥料(海藻酸水溶肥、腐殖酸水溶肥、微生物菌剂生物肥、复合肥和有机肥)的响应以及其光合生理机制, 为盐碱地蒙古黄芪的推广种植提供参考。结果显示: 在盐碱地, 微生物菌剂生物肥的施用对蒙古黄芪的抗逆性、光合作用效率、生长特性、根系产量及质量均无显著性影响; 复合肥的施用显著促进了蒙古黄芪地上部分的生长, 但对根系产量无显著影响, 反而显著降低了其抗逆性、光合作用效率和药效成分; 海藻酸水溶肥、腐殖酸水溶肥和有机肥的施用均显著提高了蒙古黄芪抗逆性、光合作用效率、地下部分的生长及产量、质量; 施用有机肥的蒙古黄芪药材产量最高(7 046.2 kg·hm⁻²), 并与施用除腐殖酸水溶肥以外的其余处理差异显著, 施用腐殖酸水溶肥和有机肥的蒙古黄芪药效成分含量最高并与其余施肥处理差异显著, 它们的黄芪甲苷含量均达到 0.13% 以上, 毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量均达到 0.06% 以上。研究表明, 在盐碱地蒙古黄芪栽培过程中, 施用有机肥在保证蒙古黄芪药效成分较高的同时, 还具有最高的药材产量, 可认为是最佳肥料。

关键词: 蒙古黄芪; 盐碱地; 肥料; 产量; 药效成分

中图分类号: Q945.79; S567 **文献标志码:** A

Effects of Fertilizer Types on Growth, Photosynthesis, Yield and Quality of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* in Saline-alkali Land

LIU Jie¹, ZHANG Xiongjie², SHENG Jinhua^{1*}, HUO Bingxin³, JIA Changsong³

(1 Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2 Inner Mongolia Horizon Oasis Research Center of Characteristic Biologic Resource, Hohhot 010018, China; 3 Inner Mongolia Tianheng Pharmaceutical Co. Ltd, Bayan Nur, Inner Mongolia 014400, China)

Abstract: Using annual *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* seedlings as materials, we investigated the response of biennial *A. membranaceus* var. *mongholicus* to different fertilizers (Water soluble fertilizer of alginic acid, Water soluble fertilizer of humic acid, Organic fertilizer, Biological fertilizer of microorganism inoculant and Compound fertilizer) as well as its physiological photosynthetic mechanism in saline-alkali land, which provides reference for the popularization and planting of *A. membranaceus* var. *mongholicus* in saline-alkali land. The results of the study showed that: in saline-alkali land, the application of biological fertilizer of microorganism inoculant had no significant effect on the stress resistance, photosynthesis, growth characteristics, yield and quality of *A. membranaceus* var. *mongholicus*; the ap-

收稿日期: 2021-03-07; 修改稿收到日期: 2021-05-14

基金项目: 财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21); 2018 年度中央引导地方科技发展专项资金; 内蒙古重大专项; 呼和浩特市应用技术项目(2020-社-4)

作者简介: 刘 杰(1991—), 男, 在读博士研究生, 研究方向为药用植物栽培生理及繁育。E-mail: 903352548@qq.com

* 通信作者: 盛晋华, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为药用植物栽培生理及繁育。E-mail: sjinhua@163.com

plication of compound fertilizer significantly increased the growth of aboveground part of *A. membranaceus* var. *mongholicus*, while had no significant effect on the yield, and significantly reduced its stress resistance, photosynthesis and pharmacodynamic components; the application of water soluble fertilizer of alginic acid, water soluble fertilizer of humic acid and organic fertilizer significantly increased the stress resistance, photosynthesis, underground growth, yield and quality of *A. membranaceus* var. *mongholicus*. Among them, the yield of *A. membranaceus* var. *mongholicus* applied with organic fertilizer was the highest, reaching 7 046.2 kg · hm⁻². The pharmacodynamic components of *A. membranaceus* var. *mongholicus* applied with water soluble fertilizer of humic acid and organic fertilizer were the highest, the content of AS was above 0.13%, and the content of C7G was above 0.06%. In summary, Organic fertilizer had the highest yield and ensured high pharmacodynamic components of *A. membranaceus* var. *mongholicus*, which can be considered as the best fertilizer.

Key words: *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*; saline-alkali land; fertilizers; yield; pharmacodynamic components

蒙古黄芪 [*Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao] 为豆科蝶形花亚科黄耆属多年生草本^[1-2], 以根入药, 具有固表止汗、补气升阳、利水消肿等功效^[3-4]。它是内蒙古地区的道地药材^[5], 现代药理研究发现其含有锌、硒、铁、铜等多种微量元素以及黄酮类、三萜皂苷、多糖等多种化学物质^[6-7], 具有保护心肌缺血、抗氧化、抗病毒等功效^[8-10], 在中药预防新型冠状病毒肺炎方案中, 黄芪是出现的频次最高的中药之一^[11]。随着人工栽培药用植物的进行以及药用植物的开发利用, 如何通过规范化的栽培技术在保护生态环境的基础上提高药用植物产量和品质, 成为栽培过程中急需解决的问题。其中, 药用植物施肥研究是栽培的核心问题^[12], 《中药材生产质量管理范例》中规定对药用植物的施肥, 需根据土壤情况及中药材的种类进行具体的分析, 通过研究中药材自身对营养的需求、吸收肥料的能力及土壤情况、肥料效果, 将有机肥、微生物肥等做为促进中药材生长、降低肥料损耗、保护环境的肥料, 目前药用植物施肥类型主要有微生物肥料和有机肥料等^[13-15]。

盐碱地是中国重要的后备土地资源, 约 80% 的盐碱地有发展为耕地的潜力, 盐碱地的治理对于维持中国 1.2 亿 hm² 耕地红线具有重要意义。内蒙古自治区从东到西有 330 多万 hm² 盐碱荒地, 不论是耕地, 还是草原等, 均存在不同程度的盐碱化^[16]。由于盐碱地重金属含量较低, 且没被化肥和农药污染过, 是一块未被开垦过的“净土”, 因此种植抗盐碱类药材, 具有成本低、污染少、易集约化管理、可形成规模效益的优势, 且盐碱地种植的药材的药效成分往往较高^[17-18], 即“顺境出产量, 逆境出品质”。目前, 在盐碱地中有关蒙古黄芪栽培施肥的研究较少,

因此, 本研究以一年生蒙古黄芪种苗为材料, 在盐碱地探究二年生蒙古黄芪药材产量和药效成分对不同肥料的响应特征, 以及其生理光合机制, 为盐碱地中蒙古黄芪的推广种植提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料及试验地概况

试验材料为优质蒙古黄芪种苗, 平均根长 35 cm。试验于 2020 年在内蒙古农业大学海流图科技试验园区进行, 地理位置 40°40′42.28″N, 111°13′21.22″E, 海拔 1 051 m; 年平均降水量在 375~460 mm, 土壤盐渍化程度较高, pH 8.6, 全盐量为 9.64 g · kg⁻¹; 土壤耕层养分状况: 有机质 17.42 g · kg⁻¹, 全氮 1.15 g · kg⁻¹, 速效氮 65.34 mg · kg⁻¹, 速效磷 9.01 mg · kg⁻¹, 速效钾 150.44 mg · kg⁻¹。

1.2 试验设计

采用单因素随机区组设计, 在经粉垄耕作的盐碱地上设置 6 种施肥处理, 分别为海藻酸水溶肥(青岛明月蓝海生物科技有限公司生产, 主要成分海藻酸 ≥ 18%, FH)、腐殖酸水溶肥(开封市普朗克生物化学有限公司生产, 主要成分腐殖酸 ≥ 30 g/L, FZ)、有机肥(巴彦淖尔市德源肥业有限公司生产, 主要成分大豆有机质 ≥ 90%, FY)、微生物菌剂生物肥(陕西恒田生物农业有限公司生产, 主要成分甲基营养型芽孢杆菌 LW-6 ≥ 20 亿/g, FW)、复合肥(湖北澳特化工有限公司生产, 主要成分 N+P₂O₅+K₂O ≥ 45%, FF)和对照(不施肥, CK)。施肥量参考前人研究^[5, 12, 14] 确定, 海藻酸水溶肥稀释 500 倍在返青后每隔 25 d 通过叶面喷施加灌根的方式施入, 共 4 次, 每次 3.75 kg · hm⁻²; 腐殖酸水溶肥稀释 600 倍在返青后每隔 25 d 通过叶面喷施加灌根

的方式施入,共 4 次,每次 $4.5\text{ L}\cdot\text{hm}^{-2}$;有机肥随整地时一次性施入,施入量 $1\,500\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;微生物菌剂生物肥于移栽时与土混匀后一次性施入沟中,施入量 $45\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;复合肥于返青后 10 d 在降雨前一次性施入,施入量 $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。

每个处理为一个小区,小区面积为 30 m^2 ($6\text{ m}\times5\text{ m}$),小区间起边埂并设间隔保护行,重复 3 次。蒙古黄芪种苗于 6 月 5 日采取平栽的方式进行移栽,株距 15 cm,行距 30 cm,沟深 10 cm,其他田间管理同常规栽培。种苗 6 月 15 日开始返青,根据内蒙古地区生产实践中一般在 10 月中下旬收获蒙古黄芪,于返青后 120 d 取样并测定指标,取样后测产。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 叶片抗逆性生理指标 在各小区内随机选取 3 株样株,取相同部位的复叶,将小叶片摘下放入液氮中保存,带回实验室转入 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱保存待测。参考《植物生理学实验指导》^[19],采用氮蓝四唑法超氧化物歧化酶(SOD)活性,采用愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性,采用紫外吸收法测定过氧化氢酶(CAT)活性,采用硫代巴比妥酸法测定丙二醛(MDA)含量,采用磺基水杨酸法测定脯氨酸(Pro)含量,采用考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白(SP)含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖(SS)含量。

1.3.2 叶片光合指标 在各小区内随机选取叶片无破损的 3 株样株,于天气晴朗的上午 10:00—11:00,使用 CIRAS-3 型光合仪测定净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、气孔导度(G_s)、叶片水分利用率(WUE);使用手持型 SPAD-502 相对叶绿素含量测定仪测定叶绿素相对含量 SPAD;使用 PEA 便携式植物效率分析仪测定叶绿素荧光参数 F_v/F_m ,测定前暗适应 20 min。

1.3.3 形态指标及干物质积累量 采用随机取样的方法在各小区内选取 3 株植株,连同根系完整取出,用卷尺和电子游标卡尺测量株高(PH)、茎粗(SD)、主根长(RL)、根粗(RD,距芦头 1 cm 处);分别取地上、地下部分置于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱杀青 20 min 后 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重后,测定地上干物质积累量(ADMA)和地下干物质积累量(UDMA);使用 Expression 1100XL 扫描仪对蒙古黄芪根系进行扫描后,用 WinRHIZO 根系分析软件计算根表面积(RSA)和体积(RV)。

1.3.4 产量测定、药材初加工及药效成分测定 小区预留 1/2 面积进行蒙古黄芪根产量(Y)的测定。

参照《黄芪(鲜制)无硫加工技术规范》(T/CAT-CM004-2018)^[20]对蒙古黄芪进行初加工,后粉碎过筛,然后参考 2020 版《中华人民共和国药典》^[3]进行根系黄芪甲苷(AS)和根系毛蕊异黄酮葡萄糖苷(C7G)含量的测定,其中规定黄芪甲苷含量不得少于 0.080%,毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量不得少于 0.020%。

1.4 数据统计与分析

试验数据使用 SPSS 进行方差和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同肥料对蒙古黄芪植株叶片抗逆性生理指标的影响

表 1 显示,与 CK 相比,FW 处理下蒙古黄芪叶片各抗逆生理指标均无显著性变化;FF 处理下蒙古黄芪叶片的过氧化氢酶活性和可溶性糖含量均显著降低,丙二醛含量显著提高,其余指标仅稍有降低;而在 FH、FZ 和 FY 3 种处理下,蒙古黄芪叶片的过氧化物酶活性和可溶性蛋白含量均显著提高,FZ 处理又显著高于 FH 和 FY 处理,同时其超氧化物歧化酶、过氧化氢酶活性以及脯氨酸含量、可溶性糖含量也不同程度地升高,而其丙二醛含量却不同程度降低,且 FZ 处理的变化大多达到显著水平。以上结果说明,海藻酸水溶肥、腐殖酸水溶肥和有机肥有利于增强蒙古黄芪植株抗逆性,且以腐殖酸水溶肥处理效果为最佳,微生物菌剂生物肥对蒙古黄芪抗逆性的影响较小,但复合肥不利于蒙古黄芪抗逆性的提高,甚至加剧了膜脂的氧化损害程度。

2.2 不同肥料对蒙古黄芪植株叶片光合相关指标的影响

由表 2 可知,与 CK 相比,FW 处理蒙古黄芪叶片各光合相关指标均无显著性变化;FF 处理下蒙古黄芪叶片的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度均显著降低,其余指标大多不显著地降低;而 FH、FZ 和 FY 3 种处理下蒙古黄芪叶片胞间 CO_2 浓度显著降低,而净光合速率、蒸腾速率和叶片水分利用率均显著提高,并以 FH 处理变化幅度较大,同时 FH 和 FZ 处理的气孔导度和叶绿素荧光参数最大光化学量子产量(F_v/F_m)也显著提高。以上结果说明,蒙古黄芪光合作用和水分利用效率在海藻酸水溶肥、腐殖酸水溶肥和有机肥处理下得到显著提高,且以海藻酸水溶肥效果为最佳,而在微生物菌剂生物肥处理下受影响较小,但在复合肥处理下则受到抑制。

表 1 不同肥料处理下蒙古黄芪植株叶片抗逆性生理指标的变化

Table 1 The physiological indexes of stress resistance in leaves of *A. membranaceus* var. *mongholicus* under different fertilizers treatments

处理 Treatment	超氧化物歧 化酶活性 SOD activity /(U·g ⁻¹)	过氧化物酶活性 POD activity /(U·mg ⁻¹ ·min ⁻¹)	过氧化氢酶活性 CAT activity /(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	丙二醛含量 MDA content /(μmol·g ⁻¹)	脯氨酸含量 Proline content /(μg·g ⁻¹)	可溶性蛋白含量 Soluble protein content /(mg·g ⁻¹)	可溶性糖含量 Soluble sugar content /(mg·g ⁻¹)
FH	191.7abc	19.47b	29.13ab	44.17bcd	106.63b	3.12bc	6.49b
FZ	215.0a	26.63a	36.03a	37.57d	118.67ab	4.13a	7.92a
FY	195.4ab	18.22bc	29.30ab	41.03cd	142.73a	3.20b	5.72bc
FW	160.4c	13.90cd	20.50cd	48.50b	111.37b	2.53cd	5.08c
FF	169.1bc	9.53d	15.23d	60.40a	100.97b	2.19d	3.93d
CK	169.2bc	11.80d	24.17bc	46.50bc	109.97b	2.34d	5.23c

注: FH. 海藻酸水溶肥处理; FZ. 腐殖酸水溶肥处理; FY. 有机肥处理; FW. 微生物菌剂生物肥处理; FF. 复合肥处理; CK. 对照; 同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平存在显著性差异 ($P<0.05$); 下同

Note: FH. Water soluble fertilizer of alginic acid treatment; FZ. Water soluble fertilizer of humic acid treatment; FY. Organic fertilizer treatment; FW. Biological fertilizer of microorganism inoculant treatment; FF. Compound fertilizer treatment; CK. Comparison. The different normal letters within the same column showed significant difference among treatments at 0.05 level ($P<0.05$); The same as below

表 2 不同肥料处理下蒙古黄芪叶片光合相关指标的变化

Table 2 The photosynthetic indices in leaves of *A. membranaceus* var. *mongholicus* under different fertilizers treatments

处理 Treatment	叶绿素相对含量 SPAD	净光合速率 P_n /(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	蒸腾速率 T_r /(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	气孔导度 G_s /(mol·m ⁻² ·s ⁻¹)	胞间 CO ₂ 浓度 C_i /(μmol·mol ⁻¹)	叶片水分利用率 WUE	最大光化学量子产量 F_v/F_m
FH	43.9a	11.463a	5.207a	0.423a	201.6c	2.22a	0.727ab
FZ	41.0ab	10.053ab	5.320a	0.390b	219.8c	1.91ab	0.737a
FY	40.3ab	8.807b	4.760b	0.350c	238.1c	1.85ab	0.707abc
FW	40.2ab	6.490c	4.133c	0.340c	253.8b	1.59bc	0.693bc
FF	36.6b	4.430d	3.750d	0.277d	284.8a	1.18c	0.675c
CK	37.5ab	5.983c	4.177c	0.327c	266.4ab	1.43c	0.686c

2.3 不同肥料对蒙古黄芪植株形态指标及干物质积累量的影响

由表 3 可见,与不施肥对照(CK)相比,微生物菌剂生物肥(FW)处理对蒙古黄芪形态指标及干物质积累量均无显著影响;复合肥(FF)处理蒙古黄芪的根粗显著降低,地上干物质积累量显著提高,其余指标均无显著变化;海藻酸水溶肥(FH)、腐殖酸水溶肥(FZ)和有机肥(FY)处理的蒙古黄芪株高和地上干物质积累量无显著性变化,而茎粗、根粗、根表面积和地下干物质积累量均显著提高,并以 FY 处理增幅最大。以上结果说明,海藻酸水溶肥、腐殖酸水溶肥和有机对蒙古黄芪地上部分的生长影响较小,却更有利于蒙古黄芪地下部分的生长,且以有机肥效果最佳,复合肥更有利于蒙古黄芪地上部分的生长,而微生物菌剂生物肥对蒙古黄芪形态指标及干物质积累量的影响均较小。

2.4 不同肥料处理对蒙古黄芪药材产量和药效成分的影响

从表 4 可以看出,与 CK 相比,FW 处理对蒙古黄芪药材产量和药效成分(黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷)含量无显著性影响,说明微生物菌剂生物肥对蒙古黄芪药材产量和药效成分的影响较小;FF 处理下蒙古黄芪的毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量显著降低,药材产量和黄芪甲苷含量无显著性变化,但黄芪甲苷含量未到达《中华人民共和国药典》^[3]规定水平,说明复合肥对蒙古黄芪药材产量的影响较小,但降低了药效成分含量;而 FH、FZ 和 FY 3 种处理下蒙古黄芪的药材产量和药效成分含量均显著提高,说明海藻酸水溶肥、腐殖酸水溶肥和有机肥有利于蒙古黄芪药材产量和药效成分含量的提高。其中,蒙古黄芪药材产量以施用有机肥处理最高(7 046.2 kg·hm⁻²),且显著高于除腐殖酸水溶肥处理以外

表 3 不同肥料处理下蒙古黄芪植株形态指标及干物质积累量的变化

处理 Treatment	株高 Plant height /cm	茎粗 Stem diameter /mm	根长 Root length /cm	根粗 Root diameter /mm	根表面积 Roo surface area /cm ²	根体积 Root volume /cm ³	干物质积累量 Dry mater accumulation/g	
							地上 Aboveground	地下 Underground
FH	56.42b	5.63a	53.58ab	15.20ab	159.00b	13.91ab	10.01ab	13.43b
FZ	57.66b	5.43ab	50.77ab	14.23b	153.23b	12.89bc	9.26ab	12.68bc
FY	57.04b	5.37ab	54.70a	15.87a	174.10a	14.82a	8.84b	14.83a
FW	60.42ab	5.03bc	46.16abc	12.20c	138.74c	12.09cd	8.41b	11.56cd
FF	64.23a	4.63c	40.17c	10.30d	127.32c	11.22d	11.17a	10.54d
CK	61.08ab	4.87c	45.37bc	11.83c	132.71c	11.83cd	8.40b	11.44d

表 4 不同肥料处理下蒙古黄芪根(药材)产量和药效成分的变化

Table 4 The root yield and pharmacodynamic components of *A. membranaceus* var. *mongholicus* under different fertilizers treatments

处理 Treatment	根系产量 Root yield /(kg·hm ⁻²)	黄芪甲苷 Astragaloside /%	毛蕊异黄酮葡萄糖苷 Calycosin-7-glucoside/%
FH	6 557.9bc	0.115b	0.052b
FZ	6 726.7ab	0.150a	0.075a
FY	7 046.2a	0.134a	0.069a
FW	6 347.7cd	0.095c	0.038c
FF	6 019.4d	0.078c	0.028d
CK	6 155.1d	0.092c	0.037c

的所有处理;蒙古黄芪药效成分含量以施用腐殖酸水溶肥和有机肥处理最高,并均显著高于其余处理,而这两个处理之间无显著性差异,且这两个处理的黄芪甲苷含量(>0.130%)和毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量(>0.060%)均远高于《中华人民共和国药典》^[3]规定的水平。

3 讨 论

首先,本研究表明在盐碱地上施用微生物菌剂生物肥对蒙古黄芪抗逆性、光合作用、生长特性及药材产量质量的影响均较小。这与张会会等^[21]在黄芪上的研究有着不同之处。其原因可能是微生物菌剂生物肥中的活菌必须要保证施入土壤后是有活性的,才能发挥菌肥的作用,同时菌剂中的菌种只有经过大量繁殖,在土壤中形成规模后才能有效体现出菌剂的功能,为了让菌种尽快繁殖,就要给其提供合适的环境,如适宜的 pH 值、保持土壤中适量的水

分、土壤中有机的含量等,而盐碱地的土壤环境不适宜微生物菌种的生存和繁殖,导致微生物菌剂生物肥效果不明显。

其次,本研究结果显示在盐碱地上施用复合肥对蒙古黄芪产量的影响较小,但降低了其植株抗逆性、光合作用和药效成分。这与马中森等^[22]在蒙古黄芪上的研究有不同之处。其原因可能是复合肥施入盐碱地土壤中,使盐碱地土壤容重、紧实度等物理性质发生了变化,导致土壤中通气性、持水性变差,会引起土壤板结现象,使土壤酶活性下降,加重了盐碱地土壤的盐碱化程度,从而导致蒙古黄芪受到的逆境胁迫程度加剧,进而引起了蒙古黄芪抗逆生理活性物质含量下降、光合速率降低、根系生长及干物质积累减缓,最终使蒙古黄芪的根系产量没有显著性的提高,反而降低了其药材品质。

再次,本研究发现在盐碱地上施用海藻酸水溶肥、腐殖酸水溶肥和有机肥均明显提高了蒙古黄芪的抗逆性、光合作用效率以及地下部分生长和产量质量。其中,海藻酸水溶肥施用效果与冯敬涛等^[23]在苹果上的研究有相似之处;腐殖酸水溶肥施用效果与郭岩等^[5]在蒙古黄芪上的研究有相似之处;有机肥使用效果与赵亚兰等^[24]在蒙古黄芪上的研究结果有相似之处。蒙古黄芪处于盐碱胁迫的逆境后,其根系产量往往较低,这点在其余作物上也已得到广泛的证实;蒙古黄芪的药效成分主要是一些次生代谢产物,前人^[25]通过药用植物次生代谢产物和环境胁迫之间的关系,总结了相关的理论依据,提出了生长/分化平衡假说、碳素/营养平衡假说、资源获得假说等并最终得出适度环境胁迫能增加植物次生代谢产物的结论,即“逆境出品质”。对盐碱地中的蒙古黄芪施用海藻酸水溶肥、腐殖酸水溶肥和有

肥后,这3种肥料通过对蒙古黄芪植株抗逆性、光合作用及生长特性的改变,最终影响了蒙古黄芪药材的产量和质量,但这并不是某一个指标单独影响的效果,而是许多指标的交互作用所致。如叶面喷施腐殖酸水溶肥后,直接提高了叶片的光合作用效率,光合作用效率的提高使蒙古黄芪体内初生代谢产物的含量提高,其中一些可溶性糖、可溶性蛋白等初生代谢产物又可以提高蒙古黄芪的抗逆能力,而次生代谢产物的合成往往以初生代谢产物为原料,从而又促进了次生代谢产物的合成,最终提高了蒙古黄芪的药效成分含量;再如有机肥疏松了土壤、增加了土壤有机质含量,为蒙古黄芪根系的生长发育提供了更好的环境,进而提高了蒙古黄芪的药材产量。

参考文献:

[1] BAI H Y, ZHENG W H, HAN S, *et al.* Metabolomic determination of specialized metabolites using liquid chromatography-tandem mass spectrometry in the traditional Chinese medicines *Astragali radix* and *Hedysari radix* [J]. *Natural Product Communications*, 2019, **15**(1): 1-3.

[2] 常 晖,程秋香,李吟平,等. 黄芪种子种皮颜色和大小与种子活力相关性研究[J]. 种子, 2015, **34**(8): 95-97, 104.

CHANG H, CHENG Q X, LI Y P, *et al.* Study on the correlation between seed size, seed coat colour and seed vigor of *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao[J]. *Seed*, 2015, **34**(8): 95-97, 104.

[3] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京:中国医药科技出版社, 2020.

[4] 胡建燃,李 平,秦路鹏,等. 恒山黄芪和宁夏枸杞的多糖体外抗氧化活性比较研究[J]. 西北植物学报, 2016, **36**(8): 1 648-1 653.

HU J R, LI P, QIN L P, *et al.* Polysaccharides extraction and comparative analysis on antioxidative activities in vitro of *Hengshan Astragalus* and *Lycium barbarum* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, **36**(8): 1 648-1 653.

[5] 郭 岩,盛晋华,张雄杰,等. 腐殖酸水溶肥对蒙古黄芪根系生长及产量质量的影响[J]. 北方农业学报, 2019, **47**(3): 85-90.

GUO Y, SHENG J H, ZHANG X J, *et al.* Effects of humic acid water soluble fertilizer on root growth and yield quality in *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* [J]. *Journal of Northern Agriculture*, 2019, **47**(3): 85-90.

[6] 罗先荣,彭家清,熊 燕,等. 黄芪甲苷调控 TLR4/NF-KB 通路对系膜增生性肾小球肾炎大鼠发挥保护作用[J]. 临床和实

中药材讲究道地性,药用植物的栽培不仅追求产量和好的外观形态,更加注重药效成分,但在药材生产中高产和优质往往不能兼得,本研究也符合这一规律。而在目前的药材生产实践和销售过程中,决定蒙古黄芪经济效益的往往是其产量和外观形态,忽视了其药效成分,而药效成分的高低决定后续提取加工环节的成本和效益,在生产上具有重要意义,由“产量定价格”到由“品质定价格”还需要一定的过渡时间。因此,蒙古黄芪在栽培过程中,尤其是在盐碱地栽培管理过程中,施肥种类的选择需要综合考虑交互效应,寻求最佳的平衡点,即要有较好的产量和外观形态,又能保证其药效成分。

验医学杂志, 2020, **19**(1): 34-39.

LUO X R, PENG J Q, XIONG Y, *et al.* The protective effect of *Astragaloside* IV on mesangial proliferative glomerulonephritis rats by regulating the TLR4/NF-KB pathway [J]. *Journal of Clinical and Experimental Medicine*, 2020, **19**(1): 34-39.

[7] WANG T T, RUAN J Y, LI X X, *et al.* Bioactive cyclolanthane-type saponins from the stems of *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao [J]. *Journal of Natural Medicines*, 2016, **70**(2): 198-206.

[8] HAO J, LI J, LI X X, *et al.* Aromatic constituents from the stems of *Astragalus membranaceus* (Fisch.) Bge. var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao [J]. *Molecules*, 2016, **21**(3): 354.

[9] 贾 鑫,孙窗舒,李光跃,等. 干旱胁迫对蒙古黄芪生长和生理生化指标及其黄芪甲苷积累的影响[J]. 西北植物学报, 2018, **38**(3): 501-509.

JIA X, SUN C S, LI G Y, *et al.* Effect of drought stress on the growth and physiological characteristics and the accumulation of *Astragaloside* ? secondary metabolites of *Astragalus membranaceus* (Fisch.) var. *mongholicus* (Bge.) Hsiao [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2018, **38**(3): 501-509.

[10] 滕红梅,王玲丽,胡晓晨,等. 蒙古黄芪营养器官结构与有效成分积累特征研究 [J]. 西北植物学报, 2017, **37**(2): 279-285.

TENG H M, WANG L L, HU X C, *et al.* Anatomy of vegetative organs and the accumulation of active constituents in *Astragalus membranaceus* var. *mongolicus* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2017, **37**(2): 279-285.

[11] 倪力强,陶弘武,杨小林,等. 中药预防新型冠状病毒肺炎策略与分析[J]. 中华中医药学刊,2020,**38**(4): 8-14.
NI LQ, TAO H W, YANG X L, *et al.* Analysis and strategy on prevention plan of *Corona Virus Disease* 2019 by traditional Chinese medicine[J]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*, 2020, **38**(4): 8-14.

[12] 张亚琴,邓秋林,文秋姝,等. 浅谈科学施肥在中药材生态种植中的作用与措施[J]. 中国中药杂志,2020,**45**(20): 4 846-4 852.
ZHANG Y Q, DENG Q L, WEN Q S, *et al.* Brief discussion about role and measures of scientific fertilization in ecological cultivation of Chinese medicinal materials[J]. *Chinese Journal of Chinese Materia Medica*, 2020, **45**(20): 4 846-4 852.

[13] 丁丹丹,李西文,陈士林,等. 优质中药材栽培合理施肥探讨[J]. 世界科学技术-中医药现代化,2018, **20**(7): 1 114-1 122.
DING D D, LI X W, CHEN S L, *et al.* Study on rational fertilization of high quality Chinese herbal medicines [J]. *Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica-World Science and Technology*, 2018, **20**(7): 1 114-1 122.

[14] 宋庆燕. 氮磷钾配施对黄芪产量和质量的影响[D]. 北京:北京中医药大学,2017.

[15] 王梦茹. 专用肥对黄芪产量及品质的影响[D]. 太原:山西农业大学,2019.

[16] 杨 博,屈忠义,孙慧慧,等. 粉垄耕作对河套灌区盐碱地土壤性质的影响[J]. 灌溉排水学报,2020,**39**(8): 52-59.
YANG B, QU Z Y, SUN H H, *et al.* The effect of smash-ridging cultivation on properties of saline-alkali soil in Hetao irrigation district[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2020, **39**(8): 52-59.

[17] 张艳贺. 不同产境黄芪生药学研究[D]. 哈尔滨:黑龙江中医药大学,2014.

[18] 王玉珍. 不同品种金银花在盐碱地引种栽培对比研究[J]. 北方园艺,2013,(15): 157-159.
WANG Y Z. Comparison test of different varieties of *Lonicera japonica* introduced and planted in saline-alkali soil[J]. *Northern Horticulture*, 2013, (15): 157-159.

[19] 张治安,张美善,蔚荣海. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004.

[20] T/CATCM004-2018. 黄芪(鲜制)无硫加工技术规范[S]. 北京:中国中药协会,2018.

[21] 张会会,史 娟,王 俊,等. 不同微生物菌剂和生物有机肥对黄芪地下生长量及根腐病的影响[J]. 北方园艺,2016, (1): 140-143.
ZHANG H H, SHI J, WANG J, *et al.* Effect of different microbial agents and biological organic fertilizer on root growth and root rot underground of *Astragalus membranaceus* [J]. *Northern Horticulture*, 2016, (1): 140-143.

[22] 马中森,洪建雄,刘效瑞,等. 轮作周期及新型肥料对蒙古黄芪主要农艺性状及生产效应研究[J]. 中国现代中药,2018, **20**(8): 992-998, 1 002.
MA Z S, HONG J X, LIU X R, *et al.* Effects of rotation cycle and new fertilizers on main agronomic traits and production of *Astragalus membranaceus* var. *mongolicus* [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2018, **20**(8): 992-998, 1 002.

[23] 冯敬涛. 海藻提取物对干旱胁迫下苹果幼苗抗旱性和养分吸收的影响[D]. 山东泰安:山东农业大学,2019.

[24] 赵亚兰,代立兰,王崙德,等. 不同基肥及其施肥量对黄芪产量和质量的影响[J]. 中药材,2018,**41**(12): 2 741-2 747.
ZHAO Y L, DAI L L, WANG Y D, *et al.* Effects of different base fertilizers and fertilizer application amount on yield and quality of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* [J]. *Journal of Chinese Medicinal Materials*, 2018, **41**(12): 2 741-2 747.

[25] 黄璐琦,郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成[J]. 中国中药杂志,2007,**32**(4): 277-280.
HUANG L Q, GUO L P. Secondary metabolites accumulating and geoherbs formation under environmental stress[J]. *Chinese Journal of Chinese Materia Medica*, 2007, **32**(4): 277-280.

(编辑:裴阿卫)