

肥料类型对黄芪产量和品质影响的研究进展

陆国弟,侯嘉,杜骏,杨扶德*

(甘肃中医药大学,陇药产业创新研究院,甘肃 兰州 730000)

摘要:中药材黄芪不规范施肥现象普遍存在,严重影响其质量。本研究总结了不同肥料类型(氮肥、微肥、有机肥、菌肥、专用肥、控释肥)对黄芪产量和质量的影响,发现合理的施入不同类型肥料均可不同程度促进黄芪植株的生长,增加黄芪地上地下鲜干重,刺激有效成分黄酮、皂苷等的累积。进而提高黄芪产量及质量。但不同产地对肥料的需求量有较大差别,其中氮肥为 $30.00\sim 546.90\text{ kg/hm}^2$;微肥: $2.25\sim 75.00\text{ kg/hm}^2$;有机肥为 $1\ 500\sim 7\ 500\text{ kg/hm}^2$;菌肥: $1.20\sim 606.00\text{ kg/hm}^2$;有机-无机配施为 $8\text{ kg/hm}^2 + 0.4\text{ kg/hm}^2\sim 2\ 400\text{ kg/hm}^2 + 600\text{ kg/hm}^2$;专用肥: $1\ 050\sim 4\ 500\text{ kg/hm}^2$;控释肥: $300\sim 500\text{ kg/hm}^2$ 。分析原因主要与产地土壤肥力程度、区域生态环境、肥料配方、生产目标等有关。建议制定科学有效的施肥方案,需综合考虑黄芪产地土壤质地、生产目标等因素。为黄芪规范化栽培,保证其品质提供思路及参考。

关键词:黄芪;施肥;产量;质量

中图分类号:S567.239 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)04-0252-09

DOI:10.13817/j.cnki.cyycp.2024.04.029



黄芪为临床常用补气药。主要来源为蒙古黄芪(*Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*)或膜荚黄芪(*A. membranaceus*)的干燥根^[1]。近年来,随着国内外对黄芪需求量的急剧增长,野生资源因长期、无节制的采挖而濒临灭绝,批量产出规模形成困难。为保证黄芪资源可持续发展,满足人们的需求,黄芪的人工栽培自20世纪60年代便已开始,目前中药材市场上的黄芪种类大多数为栽培黄芪。黄芪喜凉,属耐旱耐寒植物,忌高温,怕涝^[2],适宜于土壤肥沃和疏松的沙壤土中生长,人工栽培主要分布在北方各地^[3]。其生长发育阶段对氮磷钾肥需求明显。此外,黄芪对肥

料中微量元素要求较高,比如铁、锌等,因此施肥时需增加微量元素的含量,以提高黄芪的品质。生长环境也会对黄芪需肥产生影响,例如土壤贫瘠环境下黄芪对肥料的需求较大,反之较小。总之,黄芪应根据生长阶段、微量元素的需求及生长环境的情况进行合理施肥^[4],确保黄芪的产量和品质。但在人工栽培过程中,由于缺乏对黄芪需肥规律的系统研究,导致黄芪药材质量下降问题日趋严重^[5-7],制约了黄芪的栽培发展。因此如何通过科学规范化施肥措施促进黄芪药材质量的提高,是生产中亟待解决的问题。本文针对不同类型肥料对黄芪产量及品质的影响进行综述,基于不同肥料类型(氮肥、微肥、有机肥、菌肥、专用肥、控释肥)提出施肥中出现的问题,并给出科学施肥建议,为今后黄芪规范化栽培和提质增产提供科学依据。

1 无机肥料对黄芪产量、品质的影响

无机肥料因养分含量高、肥效快、施用量少、便于施用等特点,成为目前中药材种植中使用最广泛的肥料类型。其种类主要有氮肥、磷肥、钾肥及微肥。

收稿日期:2023-05-10;**修回日期:**2023-06-19

基金资助:甘肃省科技厅自然基金项目(22JR5RA592);甘肃省教育厅青年博士基金项目(2022QB-099);国家中药材产业技术体系建设专项资金项目(CARS-21);2022年中医药事业传承与发展项目(甘肃省中药炮制技术传承基地)

作者简介:陆国弟(1985-),女,甘肃会宁人,副教授。

E-mail: luguodi@126.com

*通信作者。E-mail: gszzyfd@163.com

1.1 氮肥及氮磷钾配施对黄芪产量及质量的影响

氮肥是施用频率最高的无机肥,由于氮磷钾之间的协同效率,氮肥与磷肥、钾肥的配施也逐渐成为无机肥施用的主流模式。而合理、科学的氮磷钾配施是增加药材产量、提高其质量的重要栽培措施^[8-10]。

研究表明,氮磷钾合理的配施,可促进黄芪产量和质量的提高^[11-14]。但受产地、品种、生产目标的影响,其施肥量及氮磷钾配比存在差异^[15-22]。周巧梅等^[23]发现适宜内蒙地区黄芪生长及产量提高的氮肥用量在 75.90~151.80 kg/hm²,其中黄芪根鲜产量达到 7 270.3 kg/hm²,干产量达到 3 538.4 kg/hm²,均显著高于不施肥对照处理。Park 等^[24]得出氮磷钾最佳施肥配方为 N 50 kg/hm²、P₂O₅ 70~140 kg/hm²、K₂O 70 kg/hm²。而宋庆燕^[5]研究发现,正蓝旗试验区氮磷钾最佳配施量分别为 78.9 kg/hm²、99.1 kg/hm² 及 65.0 kg/hm²;多伦试验区分别为 94.2 kg/hm²、120.0 kg/hm² 及 0 kg/hm²;河北围场试验区分别为 70.6 kg/hm²、133.3 kg/hm² 及 89.8 kg/hm²。陈叶等^[25]指出在甘肃河西地区促进黄芪产量提高的氮磷钾最佳配施量分别为 546.9 kg/hm²、172.5 kg/hm² 及 288.0 kg/hm²(表 1)。内蒙地区蒙古黄芪种植的施氮量在 75~151 kg/hm²;河北施氮量在 70.6~150 kg/hm²;陕西最低施氮量为 70.335 kg/hm²,最高施氮量为 225 kg/hm²;而膜荚黄芪建议施氮用量在 55~102.62 kg/hm²。甘肃施氮量在 30~150 kg/hm²;膜荚黄芪施氮量在 225~546.9 kg/hm²。东北施氮量在 54~546.9 kg/hm²。综上可知,内蒙、陕西、河北最低施氮量均集中在 70 kg/hm² 左右,而内蒙、河北、甘肃最高施氮量接近,为 150 kg/hm² 左右。此外,土壤背景和品种的不同对施肥方案影响较大,高青鸽等^[26]研究表明促进蒙古黄芪生长的施氮量为 225 kg/hm²,其黄芪根干物质累积总量和茎叶干物质累积量高出对照 135.58%~143.57%。而王振等^[27]研究表明膜荚黄芪最佳施氮量为 66.85~102.92 kg/hm²。对表 1 中施肥前土壤氮、磷、钾含量与黄芪植物施氮量进行回归分析,发现黄芪植物施氮量与土壤中氮、磷、钾含量呈极显著相关(线性回归, $F=19.740$, $P=0.001$)。进一步表明土壤本底肥力对施肥方案的确定影响较大。与高青鸽等研究中土壤背景相近且品种相同的情况下,

程萌萌^[28]给出的施肥方案为 N 95.7075~98.445 kg/hm²、P₂O₅ 124.7625~134.066 25 kg/hm²、K₂O 77.265~97.425 kg/hm²,分析产生施肥差异的原因可能与土壤水分有关。不同产区,因降水量的不同使得土壤含水率有所不同,水分对植物的产量至关重要^[29],而适量的氮肥可提高植物水分利用率。此外,研究表明生产目标不同,施肥方案也不尽相同。邱黛玉等^[30]发现促进黄芪药材产量提高的氮磷钾配施量分别为 37.50 kg/hm²、90.00 kg/hm² 及 30.00 kg/hm²,在此方案下其根鲜重较对照增加 75.03%,根干重增加 70.98%,产量高出对照 153.59 kg/hm²;而提高种子产量的氮磷钾配施量分别为 45 kg/hm²、108 kg/hm² 及 36.00 kg/hm²。徐海军等^[31]研究指出有利于蒙古黄芪植株生长及根系多糖含量积累的氮磷钾配施量分别为 92.8 kg/hm²、69 kg/hm² 及 150 kg/hm²;而促进黄酮类物质积累的配施量分别为 46.4 kg/hm²、69 kg/hm² 及 100 kg/hm²,因此明确生产目标也是合理制定施肥方案的重要前提。

1.2 微肥对黄芪产量及质量的影响

合理科学的施入微肥能够提高肥料利用率、调节土壤养分平衡,起到中药材增产的目的。研究表明,硼可参与碳水化合物运输,促进生殖器官的建成和发育,调控酚的代谢,提高豆科作物根瘤的固氮能力^[32],以此提高豆科植物的品质。张金文等^[33]证实喷施养禾硼可提高黄芪根的产量,促进有效成分黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量的显著累积。锌、锰等微肥不仅促进药用植物营养成分的富集,同时可促进有效成分的合成和积累^[34]。杨志方^[35]研究发现,喷施多元微肥(锌、锰、硒)可促进其有效成分黄芪甲苷含量的积累。侯文娟^[36]研究表明与当地施肥习惯相比,在平时种植黄芪施肥基础上进行 4 次 258 微肥喷施,可提高黄芪产量 233.40 kg/hm²。但不同产区微肥的施入量不同。郭瑜瑞^[37]研究表明促进黄芪幼苗生长的锰元素用量为 250 mg/L。杨相等^[38]研究中的锰元素用量为 0.48 mg/L。分析可能是不同类型土壤对微量元素元素的转换、吸收利用不同所致^[39],也与具体施用对象等因素有关。例如,郭瑜瑞^[37]研究发现促进黄芪种子发芽的微量元素施用方案为:FeSO₄ 400 mg/L、ZnSO₄ 100 mg/L、MnSO₄ 125 mg/L 和 CuSO₄ 50

mg/L, 而促进黄芪苗生长的微量元素施用方案为: FeSO_4 200 mg/L、 ZnSO_4 50 mg/L、 CuSO_4 200 mg/L。

2 菌肥对黄芪产量及品质的影响

菌肥施用后可降解土壤中的化学农药、活化土壤养分、促进作物根系活力^[40-43]。史小平等^[44]试验结果表明,生物菌肥黄芪苗蘸根处理能促进蒙古黄芪根系生长,其中根长较对照增加 7.40~9.50 cm,增长率为 14.40%~18.10%;根粗较对照增加 1.20~1.50 cm,增长率为 8.30%~10.60%;产量达到了 3 375~3 530 kg/hm²,较对照增加 305.00~405.00 kg/hm²,增产率 9.90%~10.40%,有效成分多糖含量较对照增加 9.10%。梁华等^[45]发现黄芪固氮菌回接于根际土壤,也能有效促进蒙古黄芪生长和品质的提高。与对照相比,黄芪株高、根长、地上地下干质量分别提高了 23.24%,36.25%,34.49%,63.47%;有效成分黄酮、皂苷、多糖含量分别提高 21.51%,21.52%,57.42%。Liang 等^[46]也发现由黄芪茎、叶粉以及 2 种固氮菌株制成的微生物菌肥可促进蒙古黄芪的生长及有效成分含量的提高。分析固氮菌肥可提供黄芪生长充足的氮营养,并协调 P、K 及其他营养吸收水平,共同促进黄芪的生长,同时调控次生代谢物合成关键酶的活性,促进次生代谢产物的合成及积累^[47-48],因而黄芪品质高于其他处理。此外,菌肥施用可改善土壤酶活性,有利于作物对养分的吸收,从而促进其生长,提高其产量^[49]。魏琴芳等^[50]基施复合 EM 菌种 15 kg/hm²,发现显著增加了黄芪产量,其产量为 14 000 kg/hm²,较对照增加 16.81%。李娟等^[51]发现,生物肥料 HZ-24 对蒙古黄芪根直径、根干重有显著促进作用。与不施肥处理相比,黄芪根干重增加了 40.80%,根直径增加 36.70%;与化肥处理相比,根干重增加 16.20%,根直径增加 19.20%。但针对同一种固氮菌,不同研究中的施用量不同。杨振宇等^[52]通过拌种研究发现,施入含有 T16、T21 有效活菌数 10⁸/mL 的菌肥可有效促进黄芪种子的发芽,而李文倩等^[53]通过基施含有 T16、T21 有效活菌数 10⁶~10⁸/mL 的菌肥时可促进黄芪幼苗的生长及有效成分的积累。分析原因可能与生态环境、施用方式及研究目标不同

有关^[54]。

3 有机肥对黄芪生长、产量及品质的影响

有机肥含有丰富的有机物及作物生长所需的各种营养元素,施用后既可以提供植物全面的营养,增强作物抗逆性,又可以改善土壤结构,促进微生物繁殖,起到保水保湿作用^[55-57],从而促进作物生长,提高其产量,改善其品质。刘杰等^[58]研究表明,施用有机肥可显著提高盐碱地蒙古黄芪抗逆性、光合作用效率、地下部分的生长及产量、质量。其中药材产量达到最高(7 046.20 kg/hm²),且药效成分含量积累最多(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),并与其他施肥处理相比差异显著。贺连珍等^[59]在青海互助县塘川镇新元村通过种植试验,明确了有机肥全部替代化肥后的最佳施肥量为 7 500 kg/hm²,其产量达到了 11 097.56 kg/hm²,较对照增产 3 329.27 kg/hm²,增幅 42.86%。而何雪玲等^[60]研究中给出的有机肥施用量为每年 1 500~2 000 kg/hm²。因此,要达到作物高产优质,需因地制宜制定科学合理的施肥方案。中药药渣富含作物生长的多种营养成分,且通气性好,施用后可较短时间内改变生土的理化性状,促进作物生长。研究表明,中药麦芽渣处理相比其他对照处理,可显著提高黄芪根粗及地下部分鲜重^[61]。此外,陈蒙等^[62]发现施加不同有机肥可改善黄芪苗的成活率,促进黄芪植株的生长,提高主根直径、长度及单株重量。其中黄芪株高较对照增幅 5.86%~19.84%;主根直径增加 3.38%~14.19%;主根长度增加 4.64%~16.56%,主根单株重量增幅 2.21%~17.79%。由此可见,虽然不同有机肥对黄芪生长及质量的影响不一致,但不同有机肥处理下黄芪药材产量质量均呈现大幅度变化。

4 无机-有机配施对黄芪产量及质量的影响

有机、无机配合施肥,具有活化土壤,改善土壤结构,增肥保湿,抗旱抗寒,预防病虫害的作用,施用后可起到增产增收,提高作物品质的效果^[63-65]。刘华等^[66]研究表明,减施化肥配施 EM 菌肥能显著促进蒙古黄芪的生长。苏智等^[67]研究发现蒙古黄芪在施用有机肥 2 400 kg/hm²结合复合肥 600 kg/hm²的条件

下增产效果最好,较单施复合肥 600 kg/hm² 增产 1 844 kg/hm²。而张金文^[68]试验发现,基施绿能瑞奇牌有机—无机复混配方肥 1 800 kg/hm²,比单施农家肥增产 96%,同时提高了黄芪甲苷、毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量。高游慧等^[69]在上述施肥方案基础上,添加微生物肥,发现能有效促进黄芪对多种矿质养分元素的积累与分配。另有研究发现,腐植酸可直接通过根系输导组织被作物吸收,养分利用率高,提高作物产量效果较佳^[70]。侯毅^[71]证实了上述观点,发现腐殖酸有机肥 8 kg 配施氮肥 0.4 kg/hm²时黄芪产量最高,且品质最佳。

另外,为切实提高药用植物产量,保证其质量,改变药用植物栽培质量低劣的状况,很多学者借助现代高新技术,根据植物所需营养特性及施肥技术,研制药用植物专用肥,并对施用效果进行分析。王梦茹^[72]研制的黄芪专用肥(配方中固体菌肥、茎叶绿肥、氮磷钾复合肥、硝普钠、钼肥、铁肥的比例依次为 13.60%、74.34%、9.96%、0.041%、0.014%、2.039%),施用于山西省静乐县种植的 3 年生蒙古黄芪,发现可有效提高其生物量及活性成分含量,促使黄芪产量每亩增产 48.60 kg,多糖、黄酮、皂苷含量分别提高

14.60%、11.50%、2.30%,配方优化效果好,可进行推广。冯守疆等^[73]在甘肃省黄芪主产区陇西县、渭源县、岷县研究了含腐植酸高塔熔体黄芪专用肥与常规施肥对黄芪根部形态特征、产量、品质和经济效益的影响,结果表明,施用含腐植酸高塔熔体黄芪专用肥(N—P₂O₅—K₂O 为 20—26—8)1 200 kg/hm² 较常规施尿素 600 kg/hm²+磷酸二铵 900 kg/hm²,可明显增加黄芪的产量,提高其有效成分的含量,纯收益增加 1 419~1 886 元/hm²。

5 控释肥施用对黄芪生长影响

控释肥是近年来发展起来的一种新型肥料,施用可显著降低氮素的挥发和淋失,大幅度提高氮素利用率,减少氮肥施用对环境和地下水的污染^[74-75]。刘政波等^[76]大田试验结果表明,与常规氮磷钾施肥相比,控释肥处理组能够显著提高黄芪经济产量和多糖含量。其中茎粗分别增加了 31.00%、31.48%、27.27%,而黄芪多糖含量相比对照(无任何肥料处理)分别提高了 1.65 倍、1.55 倍和 1.54 倍。

表 1 2002~2022 年黄芪产地土壤本底氮、磷、钾含量及建议施用量

Table 1 Soil background N, P and K contents and recommended application with regards to *Astragalus membranaceus* from the literature published from 2002 to 2022

中药材	药用部位	施肥方式	土壤本底养分含量						施入氮磷钾含量/(kg·hm ⁻²)			位置	作者	年份
			有机质/ (g·kg ⁻¹)	pH 值	全氮/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ 有效氮 (/mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	氮	磷	钾			
蒙古黄芪	根	基肥	1.50	7.60	—	75.30	88.77	145.80	75.90~ 151.80	10.00	444.47	内蒙	周巧梅 ^[23]	2006
蒙古黄芪	根	磷肥、钾肥基肥 处理;氮肥基 肥+追肥处理	—	—	0.45	—	17.00	126.00	151.65	174.60	201.30	内蒙	栗瑞红 ^[14]	2020
蒙古黄芪	根		—	—	—	—	—	—	78.90	99.10	65.00	内蒙正蓝旗	宋庆燕 ^[5]	2017
蒙古黄芪	根		—	—	—	—	—	—	94.20	120.00	0.00	内蒙多伦	宋庆艳 ^[5]	2017
蒙古黄芪	根	磷肥、钾肥基肥 处理;氮肥基 肥+追肥处理	—	—	—	—	—	—	200.10	75.00	68.85	陕西	侯琪 ^[11]	2016
蒙古黄芪	根	磷肥、钾肥基肥 处理;氮肥基 肥+追肥处理	0.44	—	0.02	—	2.30	85.00	90.03~ 103.57	121.00~ 156.21	96.14~ 167.57	陕西	高星 ^[16]	2017
蒙古黄芪	根	磷肥、钾肥基肥 处理;氮肥基 肥+追肥处理	0.44	8.50	0.02	20.00	2.30	85.00	225.00	150.00	79.41	陕西	高青鸽 ^[26]	2015
蒙古黄芪	根	磷肥、钾肥基肥 处理;氮肥基 肥+追肥处理	26.24	8.39	0.36	—	64.00	22.51	70.33~ 125.19	148.23~ 206.16	87.02~ 166.27	陕西	陈实 ^[22]	2020

续表 1

中药材	药用部位	施肥方式	土壤本底养分含量						施入氮磷钾含量/(kg·hm ⁻²)			位置	作者	年份
			有机质/ (g·kg ⁻¹)	pH 值	全氮/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ 有效氮 (mg·kg ⁻¹)	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	氮	磷	钾			
蒙古黄芪	根	磷肥、钾肥基肥处理；氮肥基肥+追肥处理	0.44	—	0.02	20.00	2.30	—	95.71~98.45	124.76~134.07	77.27~97.43	陕西	程萌萌 ^[28]	2016
膜荚黄芪	根	磷肥、钾肥基肥处理；氮肥基肥+追肥处理	—	—	0.80	53.70	21.30	310.00	66.85~102.92	64.64~94.95	119.78~166.48	陕西	王振 ^[27]	2008
膜荚黄芪	根	基肥处理	—	—	0.01	8.30	65.00	109.80	55.20	120.00	0.00	陕西	彭玉婷 ^[18]	2018
蒙古黄芪	根	磷肥、钾肥基肥处理；氮肥基肥+追肥处理	18.90	8.42	0.98	68.14	48.51	284.16	80.00	150.00	40.00	甘肃	魏廷邦 ^[15]	2022
蒙古黄芪	根	基肥	—	—	—	—	—	800.00	37.50	90.00	30	甘肃	邱黛玉 ^[30]	2016
蒙古黄芪	根	基肥	19.4	8.78	1.21	82.50	14.70	110.00	30.00~60.00	90.00	30	甘肃	荆志宇 ^[17]	2011
膜荚黄芪	根	磷肥、钾肥基肥处理；氮肥基肥+追肥处理	—	—	0.80	53.70	21.30	310.00	225.00	53.16	225.00	甘肃	王渭玲 ^[19]	2008
蒙古黄芪	根	磷肥、钾肥基肥处理；氮肥基肥+追肥处理	—	—	—	—	—	—	150.00	150.00	112.50	甘肃	崔云玲 ^[21]	2009
蒙古黄芪	根	基肥	20.70	7.80	—	—	—	—	54.00	81.00	67.50	甘肃	徐敬琰 ^[20]	2012
膜荚黄芪	根	磷肥基肥、氮肥和钾肥基肥+追肥	1.83	7.80	—	24 210.00	4 010.00	65420.00	546.90	172.50	288.00	甘肃	陈叶 ^[25]	2019
蒙古黄芪	根	基肥	37.30	—	—	179.90	112.20	313.10	46.40~92.80	69.00	100.00~150.00	东北	徐海军 ^[31]	2021
蒙古黄芪	根	基肥	—	—	—	—	—	—	416.70	61.20	120.00	吉林	秦梦 ^[12]	2015
蒙古黄芪	根	基肥	—	—	—	—	—	—	70.60	133.30	89.80	河北	宋庆燕 ^[5]	2017
蒙古黄芪	根	基肥	1.41	—	0.90	66.00	6.80	141.60	150.00	120.00	150.00	河北	赵永志 ^[13]	2002

7 问题及展望

综上,有关黄芪药材的施肥研究,主要集中在氮磷钾、微量元素、有机、有机一无机配施对其生长发育、产量和有效成分的影响方面,对于施肥种类对黄芪生长影响研究还存在如下问题:

- 1) 微肥应用缺乏因地制宜标准。应加强中药材在不同产区对微量元素种类的适宜性研究,明确合理喷施的方法及用量,因地制宜制定黄芪药材微量元素适用标准。
- 2) 微生物肥研究基础薄弱。尽管已研究出根瘤菌种、枯草芽孢杆菌种等用于黄芪生长的微生物肥料,但其研究基础薄弱,促进产量增加及品质提高的作用机制有待进一步探索。此外,目前微生物肥应用于中药材黄芪种植中的产品种类很少,主要以菌剂

为主。

- 3) 有机肥调控中药材品质作用机制尚没有确定。目前大多数研究侧重于有机肥一次性施入对黄芪产量和品质的影响,对其施用频次、施用方式的研究甚少。

- 4) 专用肥缺乏推广应用。黄芪专用肥实际应用有待进一步加强,明确肥料的施用范围、施用时期、施用方式、保存方法及保质期,同时进行多次的田间试验,确保其施用效果,有助于真正把科学研究的成果转化生产上能应用的高效优质、高产低耗的配方,推进专用肥在黄芪生产中的实际应用。

- 5) 全面有效的施肥方案有待进一步提高。产地、降水量、土壤、播种时间、种植密度等栽培因素均对中药材黄芪的产量和品质有一定的影响^[77]。今后应结合这些因素建立更全面、更有效的施肥方案,以便更

加科学的评价其应用于中药材种植中的肥用效果,促进黄芪增产提质。

6) 对机理的研究涉及很少。可利用分子手段,开展关于黄芪根系(根瘤菌、根际土)对营养元素的响应机理研究,寻找其调控基因及营养元素利用率基因,了解施肥对黄芪产量的调控机制。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国卫生部药典委员会编. 中华人民共和国药典(一部)[M]. 北京:中国中医药出版社,2020.
- [2] 吉海军,杨晶. 黄芪的种植管理技术[J]. 吉林农业,2011(9):112.
- [3] 张贺廷,王健,程铭恩,等. 蒙古黄芪主产区栽培及商品规格等级调查[J]. 中药材,2015,38(15):2487—2492.
- [4] 裴孔杰. 黄芪育苗种植生产中的施肥方法[J]. 世界热带农业信息,2023(6):28—29.
- [5] 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.
- [6] 林建伟,陆春标. 黄芪种植中常见的问题与对策[J]. 乡村科技,2018(33):89—90.
- [7] 吴培,孙卓,杨利民,等. 海拔高度对蒙古黄芪主要药效成分积累及其关键酶基因表达量影响研究[J]. 中草药,2021,52(13):4031—4038.
- [8] 杨继样,田义新. 药用植物栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2004.
- [9] 王立平,侯福强,刘瑞方,等. 北京地区黄芪栽培技术研究[J]. 中国农学通报,2003,19(2):57—58.
- [10] 郭文芳,李旻辉,伊乐泰,等. 蒙古黄芪种植技术研究进展[J]. 农学学报,2019,9(3):36—43.
- [11] 侯琪. 氮肥分期调控对黄芪产量的影响[J]. 农业科技与信息,2016(34):104+106.
- [12] 秦梦,田伟,张益铭,等. 不同施肥配比对黄芪产量和多糖含量的影响[J]. 安徽农业大学学报,2015,42(1):148—151.
- [13] 赵永志,尹光红,张海萍. 药用植物黄芪氮磷钾配比试验简报[J]. 中国农学通报,2002(4):113—116.
- [14] 栗瑞红,刘培京,吴湾,等. 响应面法优化内蒙古黄芪施肥量[J]. 中国土壤与肥料,2021(4):178—185.
- [15] 魏廷邦,魏玉杰,杨振华,等. 种植密度及氮肥对绿洲区蒙古黄芪有效成分和产量的影响[J]. 核农学报,2022,36(8):1664—1675.
- [16] 高星. 沙地黄芪规范化栽培综合农艺措施集成[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2017.
- [17] 荆志宇. 蒙古黄芪适宜施肥量及种子采收期研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2011.
- [18] 彭玉婷,李莹莹,边小禹,等. 施肥对膜荚黄芪生长及黄芪甲苷含量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2018,46(12):140—146+154.
- [19] 王渭玲,王振,徐福利. 氮、磷、钾对膜荚黄芪生长发育及有效成分的影响[J]. 中国中药杂志,2008(15):1802—1806.
- [20] 徐敬琿,宋振华,刘效瑞,等. 旱作区氮磷钾配施对黄芪的影响[J]. 甘肃农业科技,2012(5):13—14.
- [21] 崔云玲,郭天文,郭永杰,等. 黄芪高产平衡施肥效应研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(17):7991—7992+7998.
- [22] 陈实. 蒙古黄芪营养吸收特性和施肥效应模式研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2020.
- [23] 周巧梅,田伟,吴志明,等. 氮肥施用量对蒙古黄芪生长发育及产量的影响[J]. 河北农业科学,2007(2):88—90.
- [24] Park N K, Choi D U. Effects of N, P₂O₅, and K₂O application on the yield and quality of *Astragalus membranaceus* bunge root [J]. Agris, 1990, 21(4):450—454.
- [25] 陈叶,王延宏,张东,等. N、P、K肥的施用量对膜荚黄芪育苗的影响[J]. 园艺与种苗,2019,39(6):38—40.
- [26] 高青鸽. 施肥及采收期对蒙古黄芪生长和次生代谢的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [27] 王振,王渭玲,徐福利. 膜荚黄芪氮磷钾优化施肥模式研究[J]. 植物营养与肥料学报,2008(3):552—557.
- [28] 程萌萌. 氮磷钾对蒙古黄芪生长发育及次生代谢产物积累的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [29] Zhong Y, Shangguan Z. Water consumption characteristics and water use efficiency of winter wheat under long-term nitrogen fertilization regimes in northwest China [J]. PLoS One, 2014, 9(6):e98850.
- [30] 邱黛玉,彭宁刚,陈小娜. 不同施肥量对黄芪生长发育、药材产量及种子产量和质量影响的研究[J]. 中国农学通报,2016,32(10):95—101.
- [31] 徐海军,王化,姚琴,等. 北方地区养分调控对蒙古黄芪生长及药用成分的影响[J]. 东北林业大学学报,2021,49(1):38—43.
- [32] 刘磊超,姜存仓,刘桂东,等. 硼在植物体内的生理效应及其对几种重要代谢产物影响的研究进展[J]. 中国农

- 学通报, 2013, 30(6): 268—272.
- [33] 张金文, 张玉云, 郭强强. 中微量元素肥料对蒙古黄芪生长和品质的影响[J]. 中兽医医药杂志, 2020, 39(6): 55—59.
- [34] 彭桐, 王引权, 李钦, 等. 微肥对药用植物生长品质的影响及生态环境效应[J]. 农业与技术, 2020, 40(18): 9—11.
- [35] 杨志方. “大西北”牌多元微肥对人工栽培甘草和黄芪药性影响的研究[J]. 微量元素与健康研究, 2006(5): 20—21.
- [36] 侯文娟. 258微肥喷施对黄芪产量的影响[J]. 农业科技与信息, 2020(1): 40—41.
- [37] 郭瑜瑞. 不同矿质元素处理下蒙古黄芪生长和有效成分的差异研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [38] 杨相, 张豆豆, 罗琳, 等. 锰、钼、硼三种微量元素对黄芪生长指标、总多糖含量及生理特性的影响[J]. 中国现代中药, 2018, 20(2): 184—188+199.
- [39] 杨定国, 成延鳌, 温琰茂, 等. 四川盆地土壤中微量元素的含量分布及其有效性的研究[J]. 土壤学报, 1985, 22(2): 157—166.
- [40] Ahemad M, Kibret M. Mechanisms and applications of plant growth promoting rhizobacteria: current perspective [J]. Journal of King Saud University—Science, 2014, 26(1): 1—20.
- [41] Ferreira C M H, Soares H M V M, Soares E V. Promising bacterial genera for agricultural practices: an insight on plant growth—promoting properties and microbial safety aspects [J]. Science of the Total Environment, 2019, 682: 779—799.
- [42] Tabassum B, Khan A, Tariq M, *et al.* Bottlenecks in commercialisation and future prospects of PGPR[J]. Applied Soil Ecology, 2017, 121: 102—117.
- [43] Francis I, Holsters M, Vereecke D. The gram—positive side of plant—microbe interactions [J]. Environmental Microbiology, 2010, 12(1): 1—12.
- [44] 史小平, 王建忠, 何耀武. 生物菌肥肥力高在黄芪上的应用效果[J]. 甘肃农业科技, 2003(2): 44—46.
- [45] 梁华, 陈灿灿, 陈家炜, 等. 固氮菌肥对山西道地黄芪品质及产量的影响[J]. 山西农业科学, 2019, 47(5): 841—844.
- [46] Liang J P, Xue Z Q, Yang Z Y, *et al.* Effects of microbial organic fertilizers on *Astragalus membranaceus* growth and rhizosphere microbial community [J]. Annals of Microbiology, 2021, 71(1): 2—15.
- [47] 陈力玉, 张淑卿, 李剑峰, 等. 接种荧光标记根瘤菌对苜蓿幼苗生长的影响[J]. 草原与草坪, 2013, 33(6): 1—8.
- [48] 映环, 何庆元, 梅绍祥. 不同苜蓿根瘤菌固氮能力和黄酮变异研究[J]. 草业与畜牧, 2012(5): 4—7.
- [49] 李自刚, 王新民, 刘太宇, 等. 复合微生物菌肥对怀地黄连作障碍修复机制研究[J]. 湖南农业科学, 2008(5): 62—65.
- [50] 魏琴芳, 师立伟, 王兴政. 基施4种菌肥对黄芪产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020(6): 69—71.
- [51] 李娟, 王文丽, 赵旭. 生物肥料 HZ—24 对黄芪生长及土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. 土壤与作物, 2022, 11(2): 200—208.
- [52] 杨振宇, 王宝慧, 宋诗娟, 等. 固氮菌剂对黄芪生长、土壤养分及酶活性的影响[J]. 山西农业科学, 2022, 50(6): 861—868.
- [53] 李文倩, 张莹, 王梦茹, 等. 不同施肥配比对蒙古黄芪产量及品质的影响[J]. 草地学报, 2020, 28(1): 221—229.
- [54] Niyogi K K. Editorial overview: physiology and metabolism: light responses from photoreceptors to photosynthesis and photoprotection [J]. Current Opinion in Plant Biology, 2017, 37: 4—6.
- [55] Ram M, Ramd, Roy S K. Influence of an organic mulching on fertilizer nitrogen use efficiency and herb and essential oil yields in geranium (*Pelargonium graveolens*) [J]. Bioresource Technology, 2003, 87(3): 273—278.
- [56] Tursun A O. Effect of foliar application of seaweed (organic fertilizer) on yield, essential oil and chemical composition of coriander [J]. PLoS One, 2022, 17(6): e0269067.
- [57] Haideh V A, Sara S, Hossein R, *et al.* Influence of spent mushroom compost (SMC) as an organic fertilizer on nutrient, growth, yield, and essential oil composition of German chamomile (*Matricaria Recutita* L.) [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2019, 50(5/7): 538—548.
- [58] 刘杰, 张雄杰, 盛晋华, 等. 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[J]. 西北植物学报, 2021, 41(6): 1012—1018.
- [59] 贺连珍, 蔡有华, 胡生隆, 等. 有机肥不同施用量对黄芪产量的影响[J]. 现代农业科技, 2020(12): 88+90.

- [60] 何雪玲,魏琴芳,张晓兰. 黄芪光合特性对不同施肥(有机)量的响应[J]. 北方园艺,2022(10):89—94.
- [61] 周修腾,陈美兰,杨光,等. 不同中药渣有机肥对膜荚黄芪生长以及根系结构的影响[J]. 中国现代中药,2016,18(3):335—338.
- [62] 陈蒙. 生物炭及不同有机肥对重度盐碱地改良效果及黄芪生长试验研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.
- [63] Tounkara A, Clermont—Dauphin C, Affholder F, *et al.* Inorganic fertilizer use efficiency of millet crop increased with organic fertilizer application in rainfed agriculture on smallholdings in central Senegal [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2020, 294:106878.
- [64] Zhang X, Dong W, Dai X, *et al.* Responses of absolute and specific soil enzyme activities to long term additions of organic and mineral fertilizer [J]. *Science of the Total Environment*, 2015, 536:59—67.
- [65] Tang H, Xiao X, Xu Y, *et al.* Utilization of carbon sources in the rice rhizosphere and non—rhizosphere soils with different long—term fertilization management [J]. *Journal of Basic Microbiology*, 2019, 59(6):621—631.
- [66] 刘华,李明,田永强,等. 化肥减量配施微生物肥对黄芪生长及产量的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2022(1): 67—70.
- [67] 苏智,王振坤,刘铁欣,等. 增施有机肥对黄芪产量的影响[J]. 现代农业科技, 2019(6):28+30.
- [68] 张金文. 有机与无机复混配方肥不同施用量对黄芪生长的影响[J]. 农业科技与信息, 2015(6):39—40.
- [69] 高游慧,江春艳,胡跃高,等. 不同肥料处理对有机黄芪养分吸收与分配的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2021, 29(3):453—464.
- [70] 田佳美,尹微,罗利艳,等. 含腐殖酸复合肥对辣椒生长及产量的影响[J]. 肥料与健康, 2023, 50(1): 51—53, 64.
- [71] 侯毅. 黄芪腐殖酸类有机肥不同用量及配施氮磷肥试验[J]. 农业工程技术, 2022, 42(11):24+28.
- [72] 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.
- [73] 冯守疆,张立志,杨博,等. 含腐植酸高塔熔体黄芪专用肥施用效果研究[J]. 甘肃农业科技, 2022, 53(2): 51—54.
- [74] 樊小林,廖宗文. 控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(3):219—223.
- [75] 董燕. 缓/控释复合肥料养分释放特性与生物效应研究[D]. 重庆:西南大学, 2007.
- [76] 刘政波,毕研文,杨永恒,等. 控释肥对黄芪生长发育及产量品质的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(27): 235—238.
- [77] 张雪. 栽培因素对黄芪产量和品质的影响研究进展[J]. 农业科技与装备, 2021(3):58—59.

Research progress on the effects of different fertilizer types on yield and quality of *Astragalus membranaceus*

LU Guo-di, HOU Jia, DU Tao, YANG Fu-de*

(Gansu University of Chinese Medicine, Gansu Pharmaceutical Industry Innovation Research Institute, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Irregular fertilization is often found in Radix Astragali cultivation, which seriously affects its quality. We have outlined the effects on the yield and quality of *Astragalus membranaceus* for different fertilizer types (nitrogen fertilizer, microbial fertilizer, organic fertilizer, bacterial fertilizer, specialized fertilizer, and controlled release fertilizer). And find that the reasonable application of different types of fertilizer can improve the yield and quality of *A. membranaceus* to different degrees, but the demand for fertilizer in different producing areas is quite different,

among which the nitrogen fertilizer is 30~546.9 kg/hm²; microbial fertilizer: 2.25~75 kg/hm²; organic fertilizer: 1 500~7 500 kg/hm²; bacterial fertilizer: 1.2~606 kg/hm²; organic—inorganic application: 8 kg/hm² + 0.4 kg/hm² ~2 400 kg/hm²+600 kg/hm²; specialized fertilizer: 1 050~4 500 kg/hm²; controlled release fertilizer: 300~500 kg/hm². The reasons are mainly related to soil fertility, regional ecological environment, fertilizer formula and production target, etc. Lastly, it is suggested to formulate a scientific and effective fertilization program, which should consider soil quality of the fields, and combine various factors such as production objectives. Overall, this review aims to provides insights on improving the proper application of fertilizers in the cultivation of *A. membranaceus*.

Key words: *Astragalus membranaceus*; fertilization; yield; quality

(责任编辑 康宇坤)