

句梦娜, 杨新宇, 萨如拉, 等. 不同基肥处理对连作黄芪产量与品质的影响[J]. 山西农业科学, 2025, 53(4):47-55.

JU M N, YANG X Y, SA R L, et al. Effects of field basal fertilizer treatments on yield and quality of continuously cropped *Astragalus membranaceus*[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2025, 53(4):47-55.

doi:10.26942/j.cnki.issn.1002-2481.2025.04.06

## 不同基肥处理对连作黄芪产量与品质的影响

句梦娜<sup>1</sup>, 杨新宇<sup>2</sup>, 萨如拉<sup>2</sup>, 其日格<sup>2</sup>, 王 娇<sup>1</sup>

(1. 内蒙古东宝大田生物科技有限公司, 内蒙古 包头 014030; 2. 包头市农牧科学研究所, 内蒙古 包头 014010)

**摘 要:**为探究不同基肥处理对连作种植条件下黄芪品质和产量的影响,以蒙古黄芪为试验材料,以前茬种植黄芪的土壤为试验示范田,在内蒙古固阳县3个地点分别研究不同基肥处理下黄芪产量和品质的变化,设计了常规施肥对照组(CK)和试验示范施肥试验组(DT),分别施用磷酸二铵+硫酸钾和有机肥+复合微生物肥料,对黄芪外观、根腐病发病率、品质和产量等进行观测分析,并对肥料成本和效益进行核算。结果表明,与对照组相比,3个试验示范点的黄芪根长分别增加了13.58%、31.62%、11.19%,根粗分别增加了26.73%、36.89%、13.30%;黄芪根腐病发病率分别降低了38.90%、63.61%、66.67%;在黄芪品质方面,毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量分别较对照组增加了60.38%、41.94%、127.27%,黄芪甲苷含量分别较对照组增加了30.63%、84.30%、39.53%。试验示范施肥试验组对黄芪有显著的增产效果,3个试验示范点的黄芪产量分别较对照组增加了21.38%、24.52%、19.55%。经济效益分析结果显示,试验组总产值和净利润值显著高于对照组。综上,在黄芪第2年连作中,基肥应用有机肥+复合微生物肥料可以显著促进黄芪根系生长,降低根腐病发病率,提升品质,提高产量,提高种植的经济效益,能有效缓解作物连作障碍对黄芪连作产量和品质的影响。

**关键词:**基肥;连作;黄芪;复合微生物肥料;根腐病发病率;连作障碍

中图分类号:S567.23+9 文献标识码:A 文章编号:1002-2481(2025)04-0047-09

## Effects of Field Basal Fertilizer Treatments on Yield and Quality of Continuously Cropped *Astragalus membranaceus*

JU Mengna<sup>1</sup>, YANG Xinyu<sup>2</sup>, SA Rula<sup>2</sup>, QI Rige<sup>2</sup>, WANG Jiao<sup>1</sup>

(1. Inner Mongolia Dongbao Datian Biotechnology Co., Ltd, Baotou 014030, China;

2. Baotou Institute of Agriculture and Animal Husbandry Science and Technology, Baotou 014010, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of different basal fertilizer treatments on the quality and yield of *Astragalus membranaceus* under continuous cropping conditions, in this study, *Astragalus membranaceus* in Mongolia was taken as the test material, and the soil where *Astragalus* was planted in previous stubble was used as the experimental demonstration site, and the effects of different basal fertilizer treatments on the yield and quality of *Astragalus membranaceus* were carried out in three locations in Guyang county, Inner Mongolia, and conventional fertilization control group(diammonium phosphate + potassium sulfate, CK) and experimental demonstration fertilization experimental group(diammonium phosphate + potassium sulfate and organic fertilizer + compound microbial fertilizer, DT) treatments were designed to observe and analyze the appearance of *Astragalus membranaceus*, root rot incidence, quality, and yield, and the cost and benefit of fertilizers were calculated. The results showed that compared with the control group, the root length of *Astragalus membranaceus* in the experimental group increased by 13.58%, 31.62%, and 11.19%, respectively, and the root thickness increased by 26.73%, 36.89%, and 13.30%, respectively. The root rot incidences of *Astragalus membranaceus* decreased by 38.90%, 63.61%, and 66.67%, respectively. In terms of the quality of *Astragalus membranaceus*, the content of calycosin isoflavone glucoside increased by 60.38%, 41.94%, and 127.27%, respectively, and the content of astragaloside IV increased by 30.63%, 84.30%, and 39.53%, respectively. The experimental demonstration treatment had a significant effect on increasing the yield of *Astragalus*

收稿日期:2024-09-04

作者简介:句梦娜,农艺师,主要从事植物保护研究,E-mail:jumengna945@163.com

通信作者:杨新宇,农艺师,主要从事农业技术推广工作,E-mail:yangxinyuyg@163.com

*membranaceus*, and the yield increased by 21.38%, 24.52%, and 19.55%, respectively. The results of economic benefit analysis showed that the total output value and net profit value of the experimental group were significantly higher than those of the control group. In conclusion, in the second year of continuous cropping planting of *Astragalus*, the treatment of basal fertilizer application of organic fertilizer + compound microbial fertilizer could significantly promote the root growth of *Astragalus membranaceus*, reduce the root rot incidence, improve the quality and yield, and improve the economic benefits of planting, which could effectively alleviate the impact of continuous cropping obstacles on the yield and quality of continuous cropping planting of *Astragalus membranaceus*.

**Keywords:** basal fertilizer; continuous cropping; *Astragalus membranaceus*; compound microbial fertilizer; root rot incidence; continuous cropping obstacle

黄芪(*Astragalus membranaceus*(Fisch.)Bunge)是豆科黄芪属多年生草本植物,具有补气升阳、固表止汗、利水消肿、生津养血等功效<sup>[1]</sup>。黄芪以根入药,为大宗中药材,在临床上应用较多,同时也是药食同源植物,被广泛应用于保健品、化妆品和其他产品的开发中<sup>[2]</sup>,我国黄芪主产区集中在内蒙古、陕西、山西、黑龙江等省份<sup>[3]</sup>。由于黄芪广阔的应用前景,国内和国际市场对黄芪的需求量急剧增大,黄芪的种植面积也在不断扩大,黄芪连续种植加重了连作障碍的发生,致使土壤营养元素缺失、微生物菌群失衡、有害菌群繁殖、土传病害增加,严重影响黄芪的产量和品质<sup>[4-5]</sup>。黄芪的传统种植中,施肥以化肥为主,长期大量单一施用化肥,造成土壤结构恶化,引起土壤酸化、板结、有机质含量下降、肥力下降、作物产量下降等问题<sup>[6]</sup>,而合理施肥、平衡施肥可以改善土壤条件,有效缓解连作障碍,从而提高中药材的产量和品质<sup>[7]</sup>。

通过施用有机肥、生物肥、微生物肥料等,可以有效改善连作土壤的生物和化学性质,对消减作物连作障碍有良好效果<sup>[8-9]</sup>,使土壤更适宜作物生长,从而提高作物产量和品质。周武先等<sup>[10]</sup>在连作川党参上施用有机肥、微生物肥和硅钙镁肥,3种改良剂均可提高川党参的光合代谢能力,并对土壤生化性质有不同程度改善,有机肥和硅钙镁肥可显著提高川党参产量,微生物肥可显著提升川党参的品质。王艳萍等<sup>[11]</sup>在连作茶菊上施用生物有机肥和微生物菌剂,结果表明,施用生物有机肥和微生物菌剂可以改善土壤肥力和土壤微生物群落结构,增加土壤养分有效供给,显著促进茶菊生长,提高产量,改善品质,对减轻连作障碍具有积极作用。赵涵予等<sup>[8]</sup>研究了有益微生物复合菌剂和木霉菌剂对三七连作障碍的消减作用及其机理,结果表明,2种菌剂均可以有效修复三七根际土壤,缓解连作障碍,显著提高三七的产量。目

前,通过在中药材上施用有机肥和微生物肥料缓解土壤连作障碍的研究逐渐增加,但在中药材黄芪上通过施肥缓解土壤连作对黄芪的影响的研究还较少。

内蒙古包头市固阳县作为蒙古黄芪的地道产区,黄芪种植历史悠久,截至2023年,黄芪面积达7 467 hm<sup>2</sup>,占到全国黄芪种植面积的1/6。固阳县被中国中药协会授予“中国固阳正北黄芪之乡”称号,固阳黄芪被农业部授予“农产品地理标志”<sup>[12]</sup>。黄芪忌连作,连作后黄芪产量降低30%以上,当年种植过黄芪的耕地至少5 a以上不能再种植黄芪<sup>[7]</sup>。当地农民解决连作障碍的措施以大田轮作的方式为主,但由于耕地面积有限,黄芪轮作受限,这一状况严重制约了当地黄芪种植业的发展。因此,本试验以“正北黄芪之乡”固阳县为试验点,以主产于内蒙古的蒙古黄芪为材料,针对2 a连作黄芪,通过施用不同基肥进行效果比较,以期为解决黄芪2 a连作重茬栽培问题提供施肥方案和技术途径。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试蒙古黄芪为1年生黄芪幼苗,选用外观形态一致的健康苗。

肥料包括有机肥(N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O≥5%、有机质≥45%、Ca+Mg+Cl+Zn+Fe+Si≥15%)、复合微生物肥料(N+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O=20%、有机质≥20%、Ca+Mg+Cl+Fe≥8%、有效活菌数≥5亿个/g,主要菌种包括枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌),由内蒙古东宝大田生物科技有限公司提供;尿素(N≥46%)、磷酸二铵(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O=18-46-0)、硫酸钾(K<sub>2</sub>O≥50%)、矿源黄腐酸钾(黄腐酸≥52%、K<sub>2</sub>O≥10%)、叶面肥(N≥35%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>≥12%、K<sub>2</sub>O≥7.8%)由农户在当

地农资市场购买。

### 1.2 试验地概况

试验地位于内蒙古包头市固阳县,地处阴山北麓,地跨E109°40′~110°41′,N40°42′~41°29′,气候类型属中温带半干旱大陆性气候,冬长夏短,四季分明,温差较大,年平均气温 3.9 °C,≥10 °C的

有效积温 1 900~2 400 °C,无霜期 95~110 d,年均降水量为 225~375 mm<sup>[13]</sup>。试验示范点分别设在固阳县怀朔镇牛场湾村、下湿壕镇西湾子村、金山镇二社村 3 个村,前茬作物均为蒙古黄芪。试验示范点土壤基本情况如表 1 所示,土壤剖面如图 1 所示。

表 1 试验地土壤基本情况

Tab.1 Basic soil conditions of the experimental sites

地点 Location	地貌类型 Type of landform	成土母质 Soil parent material	土壤类型 Soil types	土壤质地 Soil texture	土壤理化性质 Soil physicochemical properties				pH
					有机质含量/% Organic matter content	全氮含量/% Total nitrogen content	有效磷含量/(mg/kg) Available phosphorus content	速效钾含量/(mg/kg) Available potassium content	
牛场湾村 Niuchangwang village	丘陵	残坡积物	栗钙土	轻壤	0.93±0.10	0.35±0.01	9.60±0.05	141.00±1.21	8.50±0.08
西湾子村 Xiwanzi village	河流阶地	冲洪积物	栗钙土	重壤	2.13±0.14	0.56±0.01	25.17±0.02	141.86±1.38	8.59±0.02
二社村 Ershe village	丘陵	残坡积物	栗钙土	中壤	1.64±0.01	0.60±0.03	10.21±0.19	192.04±0.92	8.65±0.03



图 1 不同试验示范地土壤纵切剖面照片

Fig.1 Photographs of longitudinal cross-sections of soil in different experimental demonstration sites

### 1.3 试验设计

1.3.1 施肥处理 设置 2 个处理:常规施肥(CK)和试验示范施肥(DT)。CK 施肥方案为磷酸二铵 375 kg/hm<sup>2</sup>+硫酸钾 225 kg/hm<sup>2</sup>,DT 施肥方案为复合微生物肥料 750 kg/hm<sup>2</sup>+有机肥 3 000 kg/hm<sup>2</sup>,全部在黄芪移植前以基肥形式一次性施入。自黄芪移栽后 15 d 左右开始追肥,全生育期共追肥

7 次,第 1~4 次分别追施尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>、矿源黄腐酸钾 30 kg/hm<sup>2</sup>、磷酸二铵 225 kg/hm<sup>2</sup>、硫酸钾 150 kg/hm<sup>2</sup>,第 5~7 次喷施叶面肥,每隔 15 d 左右喷施 9 kg/hm<sup>2</sup> 一次,具体喷施时间根据黄芪田间长势、降雨等原因调整,其他管理措施均按照当地种植习惯进行。

1.3.2 田间设计 田间设计分田间试验和田间示

范 2 个部分,其中,田间试验于 2021 年在牛场湾村(试验地)进行,CK、DT 小区面积均为 67 m<sup>2</sup>,采取随机区组设计,每个处理重复 3 次;田间示范于 2022、2023 年分别在西湾子村(示范地 1)和二社村(示范地 2)进行,示范地 1 的 CK 和 DT 处理种植面积均为 1 333.31 m<sup>2</sup>,示范地 2 的 CK 种植面积为 0.67 hm<sup>2</sup>,DT 处理种植面积为 1.33 hm<sup>2</sup>。

#### 1.4 测定指标及方法

1.4.1 土壤理化性质测定 于黄芪定植前采用“Z”字型取样法,采集试验田 0~20 cm 土层土样,测定土壤中的有机质、全氮、有效磷、速效钾含量及 pH 等土壤理化性质。有机质、全氮、有效磷、速效钾含量及 pH 值分别采用重铬酸钾容量法、凯氏定氮法、钼锑抗比色法、火焰光度法和电位测定法测定。

1.4.2 农艺性状测定 黄芪收获期(10 月份)进行采样,试验田每个小区随机选取 3 个取样点,示范田每 666.7 m<sup>2</sup>随机选取 3 个取样点,每个样点各采集 60 株黄芪,样品去除根部泥土、枝叶等,用米尺测定黄芪根长(从芦头至根最长处距离),用游标卡尺测定黄芪根粗(距芦头 1 cm 处直径)。

1.4.3 黄芪根腐病发病情况 上述样品清洗后,统计根腐病发病情况,计算发病率。

$$\text{发病率} = \text{病根数} / \text{调查总数} \times 100\% \quad (1)$$

1.4.4 产量和品质 黄芪收获期,试验田每个小区随机选取 3 个取样方,样方面积为 5.4 m<sup>2</sup>(长 3.0 m,宽 1.8 m),去除泥土和枝叶,测量根系的鲜质量;示范田按每 666.7 m<sup>2</sup>随机选取 3 个取样方,

样方面积为 54 m<sup>2</sup>(长 30 m,宽 1.8 m),称量鲜质量,计算每 667 m<sup>2</sup>产量,最终折算成公顷产量。

采取混合取样法采集,黄芪品质毛蕊异黄酮葡萄糖苷和黄芪甲苷含量按照《中华人民共和国药典(2020)》<sup>[1]</sup>要求测定。

1.4.5 经济效益 根据当年黄芪的收购价格和黄芪种植过程中的农资投入成本,计算各处理组的经济效益。农资投入包括种苗、肥料、农药、农机作业、人工投入等。

$$\text{总产值} = \text{鲜黄芪产量} \times \text{折干率}(0.6154) \times \text{黄芪单价} \quad (2)$$

$$\text{生产成本} = \text{种子成本} + \text{肥料成本} + \text{农药成本} + \text{农机作业费} + \text{人工成本} \quad (3)$$

$$\text{净利润} = \text{总产值} - \text{生产成本} \quad (4)$$

#### 1.5 数据处理

采用 Excel 2013 和 SPSS 16.0 软件分别进行数据整理和差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同基肥处理对连作黄芪根系性状的影响

根长和根粗是影响黄芪产量及等级的直接因素。从表 2 可以看出,与 CK 相比,试验地、示范地 1、示范地 2 的 DT 处理均能够显著增加黄芪的根长和根粗( $P < 0.05$ ),根长分别提高了 13.58%、31.62%、11.19%,根粗分别提高了 26.73%、36.89%、13.30%,其中,示范地 1 的 DT 施肥处理效果最明显。表明 DT 处理可以促进黄芪根系生长。

表 2 不同基肥处理对黄芪根系性状的影响

Tab.2 Effects of different basal fertilizer treatments on root traits of *Astragalus membranaceus*

地点 Location	处理 Treatment	根长 Root length		根粗 Root thickness	
		平均值/cm Average value	较 CK 增加 % Increase than CK	平均值/mm Average value	较 CK 增加 % Increase than CK
试验地	CK	36.41±1.49b		9.99±0.46b	
	DT	41.36±1.17a	13.58	12.66±0.53a	26.73
示范地 1	CK	34.79±0.25b		9.65±0.04b	
	DT	45.79±0.20a	31.62	13.21±0.03a	36.89
示范地 2	CK	52.63±0.14b		11.43±0.11b	
	DT	58.52±0.10a	11.19	12.95±0.08a	13.30

注:表中同列不同小写字母表示各处理在 0.05 水平上差异显著。下表同。

Note: The different lowercase letters in the same column in the table indicated significant differences among treatments at the 0.05 level. The same as below.

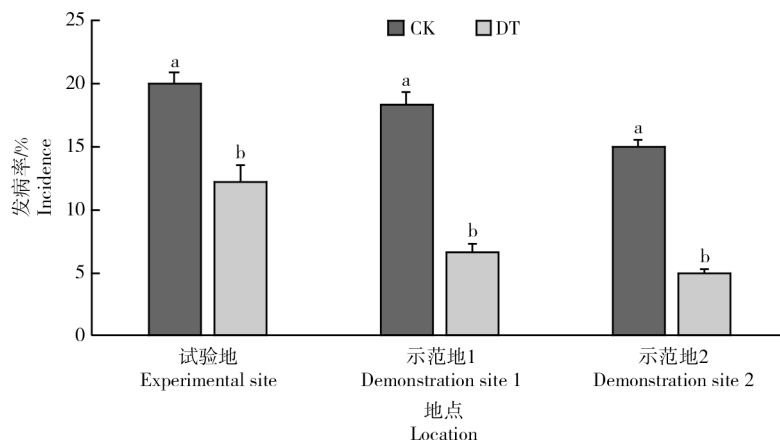
### 2.2 不同基肥处理对连作黄芪根腐病的影响

黄芪根腐病是黄芪连作生产中的主要病害,

也是影响黄芪产量和品质的主要因素。从图 2 可以看出,试验地和示范地的 DT 处理对黄芪根腐病

发病率均存在显著影响( $P<0.05$ )。与CK相比, 试验地、示范地1、示范地2 DT处理的黄芪根腐病发病率分别降低38.90%、63.61%、66.67%;其

中,示范地2黄芪根腐病的发病率降低最明显, CK的发病率为15.00%,而DT处理的发病率仅为5.00%。



不同小写字母表示各处理在0.05水平差异显著( $P<0.05$ )  
Different lowercase letters indicated significant differences among treatments at the 0.05 level( $P<0.05$ )

图2 不同基肥处理对黄芪根腐病发病率的影响

Fig.2 Effect of different basal fertilizer treatments on the root rot incidence of *Astragalus membranaceus*

### 2.3 不同基肥处理对连作黄芪品质的影响

《中华人民共和国药典》中药用黄芪指标要求,毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量 $\geq 0.020\%$ ,黄芪甲苷含量 $\geq 0.080\%$ <sup>[1]</sup>。从表3可以看出,试验地CK的毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量未达到《药典》要求,黄芪甲苷含量达标,其余施肥处理所测指标均符合《药典》要求。示范地2 DT处理的毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量最高,达到0.050%,为《药典》规定达

标值的2.5倍;黄芪甲苷含量以示范地1的DT处理最高,为0.223%,为《药典》规定达标值的2.8倍。与CK相比,试验地、示范地1、示范地2 DT处理的黄芪品质指标均显著增加( $P<0.05$ ),其中,毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量分别增加60.38%、41.94%、127.27%,黄芪甲苷含量分别增加30.63%、84.30%、39.53%。

表3 不同基肥处理对黄芪品质的影响

Tab.3 Effects of different basal fertilizer treatments on the quality of *Astragalus membranaceus*

地点 Location	处理 Treatment	毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量/% Calycosin isoflavone glucoside	黄芪甲苷含量/% Astragaloside IV	备注 Remark
试验地 Experimental site	CK	0.016±0.000b	0.096±0.003b	毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量未达到《药典》规定
	DT	0.026±0.000a	0.125±0.002a	均达到《药典》规定
示范地1 Demonstration site 1	CK	0.031±0.003b	0.121±0.002b	均达到《药典》规定
	DT	0.044±0.002a	0.223±0.003a	均达到《药典》规定
示范地2 Demonstration site 2	CK	0.022±0.004b	0.086±0.002b	均达到《药典》规定
	DT	0.050±0.002a	0.120±0.002a	均达到《药典》规定

### 2.4 不同基肥处理对连作黄芪产量的影响

由表4可知,与CK相比,DT处理均能显著提高黄芪产量( $P<0.05$ )。其中,示范地1 DT处理的黄芪增产幅度最大,比CK提高了24.52%;示范

地2 DT处理黄芪产量最高,达12 750.15 kg/hm<sup>2</sup>,与CK相比,产量提高了19.55%;试验地DT处理的黄芪产量为8 108.55 kg/hm<sup>2</sup>,与CK相比,产量提高了21.38%。在黄芪2 a连作种植中,可以通过

施肥技术提高黄芪产量,克服黄芪连作种植中产量低的问题。

表 4 不同基肥处理对鲜黄芪产量的影响

Tab.4 Effects of different basal fertilizer treatments on the yield of fresh *Astragalus membranaceus*

地点 Location	处理 Treatment	产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Yield	较CK增加/% Increase than CK
试验地 Experimental site	CK	6 680.55±47.65b	
	DT	8 108.55±46.37a	21.38
示范地 1 Demonstration site 1	CK	7 447.50±50.25b	
	DT	9 273.63±58.84a	24.52
示范地 2 Demonstration site 2	CK	10 664.85±41.34b	
	DT	12 750.15±29.02a	19.55

表 5 不同基肥处理对连作黄芪经济效益的影响

Tab.5 Effects of different basal fertilizer treatments on the economic benefits of continuous cropping of *A. membranaceus*

地点 Location	处理 Treatment	总产值 Total output value	生产成本 Production cost	净利润 Net profit value
试验地 Experimental site	CK	67 834.97±483.82b	55 579.50	12 255.47±483.82b
	DT	82 335.03±470.81a	57 300.00	25 035.03±470.81a
示范地 1 Demonstration site 1	CK	96 247.02±649.36b	55 579.50	40 667.52±649.36b
	DT	119 846.83±760.38a	57 300.00	62 546.83±760.38a
示范地 2 Demonstration site 2	CK	111 573.53±432.52b	55 579.50	55 994.03±432.52b
	DT	133 389.52±303.56a	57 300.00	76 089.52±303.56a

### 3 结论与讨论

连作障碍产生的主要因素是土壤微生态环境恶化和植物的自毒作用,而土壤微生态环境包括土壤生物环境和土壤理化性质<sup>[14]</sup>,改善土壤性质是消减连作障碍的重要举措。合理施肥可以改善土壤条件,从而达到缓解连作障碍的作用<sup>[15]</sup>。有机肥含有大量的有机质,施入土壤后可以为作物提供大量的碳源和矿质营养元素<sup>[16]</sup>;复合微生物肥料是一种含有大量功能性微生物活菌的新型肥料,兼具化肥的速效性和有机肥的长效性<sup>[17]</sup>,2种肥料结合施用,可有效改善土壤条件,调节微生物群落结构,缓解土壤连作障碍,从而使得黄芪的生长、抗病性、品质和产量均有不同程度提高<sup>[18]</sup>。本研究中的基肥是采用有机肥和复合微生物肥料替代传统化肥,结果表明,DT处理对黄芪的根长和根粗有促进作用,示范地1的DT处理效果最明显,与CK相比,根长、根粗分别增加了31.62%和36.89%。

### 2.5 不同基肥处理对连作黄芪经济效益的影响

根据市场的需求,不同年限黄芪的市场销售价格不同,2021年销售价格为16~17元/kg,2022年销售价格为16~26元/kg,2023年销售价格为16~18元/kg,按照黄芪当年产量和市场收购价格,计算不同年限CK组和DT组的总产值和净利润值。结果表明(表5),DT处理的总产值和净利润值均显著高于CK( $P<0.05$ ),试验地、示范地1、示范地2的净利润值分别较CK增加了12 779.56、21 879.31、20 095.49元/hm<sup>2</sup>,净利润值的增幅分别为104.28%、53.80%、35.89%。总产值最大的为示范地2的DT处理,达133 389.52元/hm<sup>2</sup>,其净利润值达到76 089.52元/hm<sup>2</sup>,比CK多获得净利润20 095.49元/hm<sup>2</sup>。

根长和根粗的增加可能是由于有机肥和复合微生物肥料的施用增加了土壤中的有机质含量,能吸附土壤中的养分,减少养分的流失<sup>[19]</sup>,同时为作物提供大量的碳源和其他微生物生长所需的营养物质,促进微生物快速生长,从而提升土壤通透性,使土壤变得更加疏松,调节作物根部生态环境,促进根部生长<sup>[6,10]</sup>。王乐等<sup>[20]</sup>在研究不同肥料种类对黄芪生长的影响中发现,有机肥+矿物肥+微生物肥(移栽时蘸根)对黄芪根系生长有显著影响。杨炎<sup>[21]</sup>研究表明,在连作1年的黄芪土壤中添加微生物有机肥,可以促进黄芪生长,与空白对照相比,微生物有机肥处理的黄芪株高、根长和干质量分别增加了约32.6%、44.3%和32.3%,与本研究结果一致。

本研究中,试验田和示范田DT处理的黄芪产量均高于CK其原因是复合微生物肥料具有化肥速效性的功能,可以在黄芪生长前期提供生长所需营养,因其又具有有机肥的缓效性,在黄芪生长

后期,与有机肥共同作用为黄芪提供充足养分,加快黄芪根部生长,同时2种肥料都具有改善土壤理化条件、调节微生物群落结构的作用,可以保持土壤养分供应平衡,促进植物健康生长,有效提高黄芪产量。段媛媛等<sup>[22]</sup>研究发现,有机肥能显著增加大黄的根茎鲜质量,有效提高连作大黄的产量。周芳等<sup>[23]</sup>在连作白术上施用不同有机肥研究得出,有机肥可促进白术生长,提高白术产量。田露等<sup>[24]</sup>研究发现,2 a连作甜菜,施用微生物肥料可以提高甜菜产糖量和产量。可见,在连作土壤中施用有机肥和复合微生物肥料可提高作物的产量。

土壤微生物是土壤生物环境中的重要组成部分,参与地上和地下物质的交换与转化,同时在土壤矿物质、养分转化和循环中起重要作用<sup>[25]</sup>。土壤微生物种群由真菌型转变为细菌型是土壤肥力提高的一个标志,病原微生物的严重富集,会导致真菌种类和数量增多、细菌等有益菌群减少、生态系统的稳定性降低、植物的抗病能力下降<sup>[26-27]</sup>。根腐病是大多数药材种植过程中所面临的一种防治难度较大的微生物病害,通常田间植株发病率在30%~50%,极大地降低了黄芪产量和品质<sup>[28]</sup>。据报道,施用微生物肥料可以提高中药材抗病性<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,DT处理可以显著降低黄芪根腐病发病率,与CK相比,根腐病降低幅度分别达到42.03%、66.42%、71.69%。栗瑞红等<sup>[4]</sup>研究了ETS复合菌剂、多维特抗菌剂(DWTK)、多功能维生素菌剂(WSS)对蒙古黄芪的影响,结果表明,多维特抗菌剂可以有效改善蒙古黄芪根际真菌群落结构,减少病原菌数量,有利于提高连作蒙古黄芪的抗病性,增加蒙古黄芪的生物量。辛中尧等<sup>[29]</sup>研究发现,枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*) B1、B2菌株对当归、黄芪根腐病具有较好的防治作用,对黄芪根腐病防治效果为41.48%和48.16%,与本研究结果相似。本研究中,复合微生物肥料添加的菌剂为枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌的复合菌种,有效活菌数 $\geq 5$ 亿个/g。据报道,芽孢杆菌是目前研究较多的具有抗真菌能力的细菌类群<sup>[5]</sup>,因此,根腐病发病率降低的原因可能是复合微生物肥料施入土壤后,肥料中芽孢杆菌复合菌种在生长繁殖的过程中,促进有益微生物的增加,使土壤从真菌型土壤向细菌型土壤转变,通过发挥微生物之间的拮抗作用,抑制连作土壤中

病原菌的繁殖,从而降低了根腐病的发病率<sup>[23]</sup>。

黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷是评价蒙古黄芪质量的重要指标,二者含量的高低也是评价蒙古黄芪品质的重要参数<sup>[30]</sup>。本研究中3个不同试验点DT组黄芪中的毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量和黄芪甲苷含量均高于CK,且均达到《药典》要求,这与姬丽君等<sup>[31]</sup>对蒙古黄芪增施有机肥的研究结果一致,说明施用有机肥能够提高黄芪甲苷和毛蕊异黄酮葡萄糖苷含量、改善黄芪品质。本研究通过在当地不同地貌种类、不同成土母质和土壤质地、不同土壤肥力的3个地点分别开展田间试验,探究基肥处理对2 a连作黄芪的生长、发病率、品质、产量和经济效益的影响,结果表明,基肥施用有机肥和复合微生物肥料可以增加黄芪根长、根粗等生长指标,显著降低黄芪根腐病的发病率,提高黄芪产量,改善黄芪品质,增加经济效益,其效果优于单施化肥处理。

本研究证实了施用有机肥和复合微生物肥料替代化肥,通过增添生物功能菌、碳源养分和矿质营养元素,能够有效缓解和降低连作对黄芪2 a连作的影响,达到提高产量和改善品质的目的,同时还可提高农民在黄芪上的种植经济效益,为解决受连作障碍影响和黄芪种植耕地面积限制等问题提供简单有效的施肥技术方法。本试验在包头市固阳县北纬41°地理生长环境下和黄芪2 a连作条件下完成,该试验示范施肥处理方案是否完全适合多年连作黄芪种植以及是否适合在其他地区连作种植还需进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[S]. 北京:中国医药科技出版社,2020:1088.  
Chinese Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of People's Republic of China[S]. Beijing: China Medical Science Press, 2020:1088.
- [2] 张兰涛,郭宝林,朱顺昌,等. 黄芪种质资源调查报告[J]. 中药材,2006,29(8):771-773.  
ZHANG L T, GUO B L, ZHU S C, et al. Investigation report on *Astragalus germplasm* resources[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2006, 29(8): 771-773.
- [3] 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.  
QIN X M, LI Z Y, SUN H F, et al. Status and analysis of *astragali Radix* resource in China[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2013, 38(19): 3234-3238.

- [4] 栗瑞红,李红霞,李长胜,等.微生物菌剂对连作蒙古黄芪生物量及土壤真菌群落结构的影响[J].北方农业学报,2022,50(6):50-56.  
LI R H, LI H X, LI C S, et al. Effects of microbial inoculants on biomass of continuous cropping *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* and soil fungal community structure[J]. Journal of Northern Agriculture, 2022, 50(6): 50-56.
- [5] 刘文剑,吴湾,杨晓亮,等.不同肥料处理对重茬蒙黄芪产量和品质的影响[J].生物灾害科学,2017,40(4):257-262.  
LIU W J, WU W, YANG X L, et al. Effects of different kinds of fertilizers on the yield and quality of *Astragalus membranaceus* grown in replanted soil[J]. Biological Disaster Science, 2017, 40(4): 257-262.
- [6] 岳彩翔.浅谈有机肥与土壤肥力的关系[J].河南农业,2023(25):30-31.  
YUE C X. On the relationship between organic fertilizer and soil fertility[J]. Agriculture of Henan, 2023(25): 30-31.
- [7] 张春红,徐建平,王杰,等.内蒙古道地药材黄芪生态种植模式调查整理[J].中国现代中药,2018,20(10):1212-1216.  
ZHANG C H, XU J P, WANG J, et al. Investigation and arrangement of ecological planting pattern of *Astragalus radix* in Inner Mongolia[J]. Modern Chinese Medicine, 2018, 20(10): 1212-1216.
- [8] 赵涵予,位小丫,林煜,等.两种菌剂处理对连作三七根际土壤的修复效果分析[J].福建农业学报,2018,33(11):1181-1189.  
ZHAO H Y, WEI X Y, LIN Y, et al. Remediation effect of biological agents on rhizosphere soil on land of continuously cropped *Panax notoginseng*[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2018, 33(11): 1181-1189.
- [9] 周芳.不同处理对连作白术根部土壤环境、农艺性状、产量与品质的影响[D].贵阳:贵州大学,2020.  
ZHOU F. Effects of different treatments on root soil environment, agronomic characters, yield and quality of continuous cropping *Atractylodes macrocephala*[D]. Guiyang: Guizhou University, 2020.
- [10] 周武先,刘翠君,何银生,等.3种改良剂对连作川党参生长及土壤生化性质的影响[J].农业资源与环境学报,2021,38(1):43-52.  
ZHOU W X, LIU C J, HE Y S, et al. Effects of three amendments on the growth of *Codonopsis tangshen* and soil biochemical properties in a continuous cropping system[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, 38(1): 43-52.
- [11] 王艳平,李萍,吴文强,等.生物有机肥和微生物菌剂对北京山区连作茶菊生长及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2023(12):107-113.  
WANG Y P, LI P, WU W Q, et al. Effects of bio-organic fertilizer and microbial agent on the growth of tea *Chrysanthemum* and soil fertility under continuous cropping cultivation system in the mountainous area of Beijing[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2023(12): 107-113.
- [12] 李楷谨.固阳县聚焦聚力推动黄芪产业链发展[N].包头日报,2023-08-21(5).  
LI K J. Guyang County focuses on promoting the development of *Astragalus* industry chain[N]. Baotou Daily, 2023-08-21(5).
- [13] 王树鹏.固阳县土地荒漠化原因分析与治理对策[J].内蒙古林业调查设计,2007,30(3):49-51.  
WANG S P. Cause analysis and control countermeasures of land desertification in Guyang County[J]. Inner Mongolia Forestry Investigation and Design, 2007, 30(3): 49-51.
- [14] 朱绍坤,赵文东,孙凌俊,等.连作障碍及缓解措施研究进展[J].北方果树,2018(4):1-3.  
ZHU S K, ZHAO W D, SUN L J, et al. Advances in alleviating the replant problem[J]. Northern Fruits, 2018(4): 1-3.
- [15] 赵培强.黄芪(*Astragalus membranaceus*)连作障碍的研究[D].兰州:西北师范大学,2009.  
ZHAO P Q. Study on continuous cropping obstacle of *Astragalus membranaceus*[D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2009.
- [16] 康振兴,李小玲,周武先,等.不同土壤改良剂对川党参连作障碍的防控效果[J].北方园艺,2024(3):93-102.  
KANG Z X, LI X L, ZHOU W X, et al. Control effect of different amendments on the continuous cropping obstacles of *Codonopsis tangshen* oliv[J]. Northern Horticulture, 2024(3): 93-102.
- [17] 吕博,丁亮,过聪,等.复合微生物肥对棉田土壤养分及根际细菌群落的影响[J].作物杂志,2024(4):209-215.  
LV B, DING L, GUO C, et al. Effects of compound microbial fertilizer on soil nutrients and rhizosphere bacterial community in cotton field[J]. Crops, 2024(4): 209-215.
- [18] 黄钦,尉广飞,常瑞雪,等.微生物肥料发展现状及其在中药材种植中的应用[J].中国现代中药,2022,24(1):153-159.  
HUANG Q, YU G F, CHANG R X, et al. Status quo of microbial fertilizer and application in Chinese medicinal herb cultivation[J]. Modern Chinese Medicine, 2022, 24(1): 153-159.
- [19] 孙薇,钱勋,付青霞,等.生物有机肥对秦巴山区核桃园土壤微生物群落和酶活性的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(5):1224-1233.  
SUN W, QIAN X, FU Q X, et al. Effects of bio-organic fertilizer on soil microbial community and enzymes activities in walnut orchards of the Qinling-Bashan Region[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013, 19(5): 1224-1233.
- [20] 王乐,高游慧,高永,等.肥料种类及其不同施用方式对黄芪有机生产的影响[J].中国农业大学学报,2024,29(6):86-101.  
WANG L, GAO Y H, GAO Y, et al. Effects of fertilizer types and their different application methods on the organic production of *Astragalus membranaceus*[J]. Journal of China Agricultural University, 2024, 29(6): 86-101.
- [21] 杨焱.微生物肥料对黄芪连作障碍的缓解作用[D].杨凌:西北农林科技大学,2022.  
YANG Y. The alleviating effect of microbial fertilizer on replant problem of *Astragalus*[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2022.

- [22] 段媛媛,吴佳奇,周武先,等.不同改良剂对连作大黄产量及其土壤肥力的影响[J].南方农业学报,2021,52(3):753-761.  
DUAN Y Y, WU J Q, ZHOU W X, et al. Effects of different amendments on the yield of *Rheum officinale* Baill. and rhizospheric soil fertility under continuous cropping system[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(3): 753-761.
- [23] 周芳,曹国璠,李金玲,等.不同有机肥种类及用量对连作白术产量与品质的影响[J].中药材,2020,43(10):2350-2356.  
ZHOU F, CAO G F, LI J L, et al. Effects of different organic fertilizers and dosages on the yield and quality of continuous cropping *Atractylodes macrocephala*[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2020, 43(10): 2350-2356.
- [24] 田露,郭晓霞,苏文斌,等.微生物肥料对连作甜菜生长发育及产质量的影响[J].中国农业科技导报,2023,25(5):192-203.  
TIAN L, GUO X X, SU W B, et al. Effects of microbial fertilizer on growth, yield and quality of continuous cropping sugar beet[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2023, 25(5): 192-203.
- [25] ALLISON V J, MILLER R M, JASTROW J D, et al. Changes in soil microbial community structure in a tallgrass prairie chronosequence[J]. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69(5): 1412-1421.
- [26] 杭焯,罗夫来,赵致,等.半夏间作不同作物对土壤微生物、养分及酶活性的影响研究[J].中药材,2018,41(7):1522-1528.  
HANG Y, LUO F L, ZHAO Z, et al. Effect of *Pinellia ternata* with different intercropping crops on soil microorganism, nutrient and enzyme activity[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2018, 41(7): 1522-1528.
- [27] 董艳,董坤,郑毅,等.种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(3):527-532.  
DONG Y, DONG K, ZHENG Y, et al. Soil microbial community and enzyme activities in greenhouse with different cultivation years and planting system[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(3): 527-532.
- [28] 丁万隆,李勇,王兰英.蒙古黄芪病虫害种类初步调查[J].世界科学技术(中医药现代化),2010,12(3):426-429.  
DING W L, LI Y, WANG L Y. Preliminary investigation of diseases and insect pests in *Astragalus membranaceus* (Fisch) Bge. var *mongolicus* (Bge.) Hsiao[J]. World Science and Technology (Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica), 2010, 12(3): 426-429.
- [29] 辛中尧,徐红霞,陈秀蓉.枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>菌株对当归、黄芪的防病促进生长效果[J].植物保护,2008,34(6):142-144.  
XIN Z Y, XU H X, CHEN X R. Effects of (*Bacillus subtilis*) B<sub>1</sub> and B<sub>2</sub> on preventing diseases and promoting growth of *Angelica sinensis* and *Astragalus membranaceus*[J]. Plant Protection, 2008, 34(6): 142-144.
- [30] 魏鹏.蒙古黄芪病虫害草害不同防治方法对药材产量和品质的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2020.  
WEI P. Effects of different control methods on the yield and quality of *Mongolian Astragalus* disease[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020.
- [31] 姬丽君,席旭东,王鸿雁,等.增施有机肥对蒙古黄芪产量、根腐病及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2023(3):33-38.  
JI L J, XI X D, WANG H Y, et al. Effects of increasing organic fertilizer on yield, root rot and quality of *Astragalus membranaceus*[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2023 (3): 33-38.