

# 沼液施用对蒙古黄芪根无机元素及有效成分积累的影响

陆国弟,杨扶德\*,侯嘉,陈晖  
(甘肃中医药大学,甘肃 兰州 730101)

**摘要:**【目的】明确沼液对生长期黄芪10种无机元素积累的影响,分析无机元素与有效成分的相关性。【方法】用不同浓度沼液分别对黄芪进行叶面喷施、土壤施肥和叶面喷施+土壤施肥,研究其对黄芪无机元素和有效成分含量的影响。【结果】沼液叶面喷施,以80%沼液处理的Fe、K、Ca、Mg、Na、Ni含量较高,显著高于其他处理( $P<0.05$ )。沼液土壤施肥,采收期数据显示:80%沼液土壤施肥处理的Fe、K、Ca、Na、Mn含量显著高于其他10个处理( $P<0.05$ ),Ni含量以CF处理值最高,显著高于其他处理( $P<0.05$ )。相关性分析表明,Fe含量与毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素含量,Na含量与芒柄花素含量呈显著正相关;Mg含量与芒柄花苷、毛蕊异黄酮含量,Na与黄芪皂苷Ⅲ含量均存在显著负相关。判别分析发现造成沼液与其他处理差异的主要元素有Ca、Na、Mn、Fe、Mg。【结论】适宜的沼液施用模式可促进黄芪根无机元素的累积,且与有效成分存在密切关系。

**关键词:**沼液;黄芪;无机元素;有效成分;相关性

**中图分类号:**S567 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)05-0190-10

**DOI:**10.13817/j.cnki.cyycp.2024.05.022



中药中无机元素不仅影响其药性与药效<sup>[1]</sup>,而且直接或间接干预中药次生代谢产物的合成<sup>[2-3]</sup>。成为中药质量评价的参数之一。

沼液作为有机肥,富含锌、铁、铜、锰、钙等无机元素及其他营养成分,施用后可增加土壤中无机元素的含量,进而提高其肥效<sup>[4]</sup>。而土壤中无机元素含量对植物体内无机元素有着直接影响。目前沼液广泛应用于各种农作物<sup>[5-7]</sup>,其施用方式总体分为两大类:叶面喷施和土壤施肥<sup>[8]</sup>,因沼液发酵原料和发酵工艺的

不同,加之各种作物在生长阶段对养分需求不同,其施用量(浓度)各有差异。这为沼液在中药材方面的应用提供了思路<sup>[9-10]</sup>。

黄芪作为补气之圣药,需求量大<sup>[11]</sup>,导致野生种群过度开发,资源濒临灭绝,促使栽培黄芪成为商品主流<sup>[12]</sup>。但因盲目增加产量,过度使用化肥、农药屡见不鲜,导致土壤板结酸化、病虫害多发,致使栽培黄芪质量下降严重<sup>[13]</sup>,迫切需要黄芪的可持续栽培。

研究者对有机肥沼液影响黄芪产量方面的效果进行了初探<sup>[14-15]</sup>,但均未涉及质量方面。基于此,课题组在前人研究基础上,设置不同沼液浓度,对沼液施用影响黄芪产量和质量的种子及盆栽试验进行探索,发现适宜的沼液浓度有助于黄芪苗的生长、抗逆生理指标及药用有效成分含量的提高<sup>[16-17]</sup>,鉴于上述研究基础,本文通过大田试验,采用沼液施用浓度及施用方式相结合的模式应用于黄芪种植,探究对黄芪根无机元素的影响,分析无机元素与其有效成分的相关性,为黄芪优质生产,实现其产业可持续发展提供理论支撑。

**收稿日期:**2023-10-31;**修回日期:**2024-03-25

**基金资助:**甘肃省科技厅自然科学基金(22JR5RA592);甘肃省教育厅青年博士基金(2022QB-099);2021年度甘肃高等学校产业支撑计划项目(2021CYZC-40);2018年度甘肃省委组织部人才发展专项资金项目(甘组[2018]23号)

**作者简介:**陆国弟(1985-),女,甘肃会宁人,博士,副教授,主要从事中药品质评价及中药材规范化栽培研究。E-mail:luguodi@126.com

\*通信作者。E-mail:gszyyfd@163.com

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验于2020年3月15日至11月7日在甘肃省定西渭源县莲峰镇杨家咀村进行。试验地海拔1 866.7 m, 2020年降水量462.3 mm, 平均日照时数117.1 h, 土壤有机质9.2 g/kg, 全氮0.9 g/kg, 碱解氮43.0 mg/kg, 有效磷11.0 mg/kg, 速效钾160.2 mg/kg, pH值9.4。上茬种植黄芪。

### 1.2 试验设计

采用完全随机区组设计, 设置2个因素: A为沼液浓度(A1:100%; A2:80%; A3:50%), B为施用方式(B1:叶面喷施; B2:土壤施肥; B3:叶面喷施+土壤施肥)。11个处理, 分别为100%沼液叶面喷施(A1B1)、80%沼液叶面喷施(A2B1)、50%沼液叶面喷施(A3B1)、100%沼液叶面喷施+土壤施肥(A1B3)、80%沼液叶面喷施+土壤施肥(A2B3)、50%沼液叶面喷施+土壤施肥(A3B3)、100%沼液土壤施肥(A1B2)、80%沼液土壤施肥(A2B2)、50%沼液土壤施肥(A3B2), 1个常规化肥施肥(CF), 1个清水对照(CK), 每个处理重复3次(按小区计), 共计33个小区, 每小区6 m<sup>2</sup>, 沼液施用量为: 叶面喷施2.5 kg/m<sup>2</sup>, 土壤施肥15 kg/m<sup>2</sup>。试验期间设计2次叶面喷施, 1次土壤施肥, 分别于2020年6月12、7月12日叶面喷施各1次, 2020年8月12日土壤施肥1次。CF处理分别于6

月12日土壤施聚合氨基酸复合肥料1次, 8月12日土壤施磷酸二铵1次, 其量按照药农经验, 均为750 kg/hm<sup>2</sup>。

2019年3月初育苗, 整地施聚矢三铵复合肥50 kg/hm<sup>2</sup>, 2020年3月25日移栽。生长期于7月28日、8月27日、9月26日、10月24日、11月7日在各小区分别挖取10株黄芪, 收集地下根, 进行有效成分和无机元素含量测定。

### 1.3 样品采集及制备

黄芪样品取自试验地, 经甘肃中医药大学杨扶德教授鉴定为豆科蒙古黄芪(*Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*)的干燥根。沼液取自兰州市花庄镇的甘肃荷斯坦良种奶牛繁育中心以牛粪为发酵原料的正常产气的沼气池。其pH值为7.83, 有机质含量1.075 g/L, 全N含量1.036 g/L, 全P含量0.533 g/L, 全K含量1.186 g/L, Ni含量7.77 μg/mL, Fe含量15.80 μg/mL, Mg含量31.75 μg/mL, K含量312.68 μg/mL, Co含量35.42 μg/mL, Cu含量3.65 μg/mL, Mn含量6.33 μg/mL, Na含量299.63 μg/mL, Zn含量3.02 μg/mL, Ca含量46.73 μg/mL。

### 1.4 测定指标及方法

#### 1.4.1 黄芪根无机元素含量测定

(1) 测定条件 采用空气-乙炔火焰原子吸收光谱法测定黄芪根无机元素含量, 条件见表1。

表1 元素测定条件

Table 1 Determination conditions of trace elements

元素	背景校正	等电流/mA	波长/nm	通带/nm	燃气流量/(L·min <sup>-1</sup> )
Fe	四线氘灯	8	248.3	0.2	0.9
Zn	四线氘灯	5	213.9	0.2	1.2
Cu	四线氘灯	4	324.8	0.5	1.1
K	—	4	766.5	0.5	1.2
Ca	—	5	422.7	0.5	1.4
Mg	四线氘灯	4	285.2	0.5	1.1
Na	—	5	589.0	0.2	1.1
Mn	四线氘灯	5	279.5	0.2	1.0
Co	四线氘灯	6	240.7	0.2	1.0
Ni	四线氘灯	8	232.0	0.2	0.9

(2) 供试品溶液制备 取黄芪根粉末约1.00 g, 精密称定, 置100 mL烧杯中, 加入浓硝酸-高氯酸(4:1)溶液20 mL, 放置24 h后于电热板上加热消化处理,

使其保持微沸状态, 至溶液呈无色透明状, 停止加热, 冷却后用1%的硝酸定容于50 mL容量瓶中, 过0.22 μm微孔滤膜, 用于测定黄芪根10种无机元素含

量。采用同样方法制备空白样品。

(3) 对照品溶液制备及线性关系考察 分别取10种无机元素的标准溶液1 mL,用去离子水定容至

50 mL,按照表3逐级稀释,采用表1条件测定。10种无机元素均在各自浓度范围内线性良好(表2)。

表2 线性关系

Table 2 Regression equation

元素	回归方程	相关系数	标准系列/( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )
Ca	$Y=0.00187X+0.0022$	0.9965	0.625,1.250,2.500,5.000,10.000,50.000
Zn	$Y=0.07305X-0.0019$	0.9990	0.156,0.313,0.625,1.250,2.500,5.000
Fe	$Y=0.00612X+0.0043$	0.9954	0.156,0.625,1.250,2.50,5.000,10.000
Ni	$Y=0.01877X-0.0013$	0.9979	0.156,0.313,0.625,1.250,2.500,5.000
Co	$Y=0.00877X-0.0017$	0.9967	0.156,0.313,0.625,1.250,2.500,5.000
Mn	$Y=0.00697X-0.0026$	0.9997	0.156,0.313,0.625,1.250,2.500,5.000
Na	$Y=0.05194X-0.0164$	0.9976	0.313,0.625,1.250,2.500,5.000,10.000
Cu	$Y=0.03070X+0.0021$	0.9992	0.156,0.313,0.625,1.250,2.500
Mg	$Y=0.3327X+0.0060$	0.9989	0.313,0.625,1.250,2.500,5.000,10.000
K	$Y=0.01056X-0.0045$	0.9955	0.313,0.625,1.250,2.500,5.000,10.000

(4) 方法学考察 取11月7日采样的A2B3样品,考察方法的精密度、重复性、稳定性及加样回收率,按照上述方法进样测定,计算10种无机元素含量。分别进行一天之内连续进样5次的精密度试验、3份样品的重复性试验、间隔进样(0、2、4、8、12、24 h)的稳定性试验及10种无机元素的加样回收试验,并以10种无机元素含量的RSD值作为建立方法的考察指标。结果连续及重复进样的10种无机元素含量的RSD值均 $\leq 2.5\%$ ,在0、2、4、8、12、24 h测得10种无机元素含量的RSD值均 $\leq 2.2\%$ ,其平均回收率范围为96.22%~103.45%,RSD值均 $\leq 1.9\%$ 。表明仪器的精密度,方法的重复性良好,样品在24 h内稳定,所建立的方法具有良好的回收率。

(5) 黄芪根无机元素含量测定 取不同采样期各处理的黄芪样品供试品溶液,按照上述项下方法进样测定,计算无机元素含量。

1.4.2 黄芪根有效成分含量测定 黄芪样品中有效成分毛蕊异黄酮葡萄糖苷、毛蕊异黄酮、芒柄花苷、芒柄花素、黄芪甲苷、黄芪皂苷III、黄芪皂苷II 7种成分含量按照课题组前期测定方法:使用安捷伦1260 HPLC分析,采用Agilent ZORBAX SB-C18(150 mm $\times$ 4.6 mm,5  $\mu\text{m}$ )色谱柱,流动相为0.2%的甲酸(A)和乙腈(B)。梯度洗脱程序如下:5%~13% B,0~5 min;13%~21% B,5~10 min;21%~37% B,10~23 min;37%~53% B,23~37 min;53%~69%

B,33~43 min;69%~100% B,43~45 min。平衡3 min,流速1 mL/min,柱温30  $^{\circ}\text{C}$ ,进样量10  $\mu\text{L}$ ,雾化温度30  $^{\circ}\text{C}$ ,漂移管温度105  $^{\circ}\text{C}$ ,载气流速2.5 L/min。制备供试品溶液,进样10  $\mu\text{L}$ ,注入液相色谱仪进行测定,计算7种成分含量。

### 1.5 数据分析

采用Excel 2007、Origin 9.1、SPSS 22.0、SIMCA 14.1软件对数据进行处理,利用Duncan新复极差法进行显著性检验( $P<0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同沼液处理对生长期黄芪根无机元素含量的影响

黄芪生长阶段各处理10种无机元素含量呈现4类变化趋势。第1类:呈下降趋势,涉及的无机元素有Ca(图1),Na(图2),Mg(图3);第2类:先升后降趋势,主要元素有Zn(图4),Fe(图5),Co(图6),但CK、CF处理的Zn元素与其他处理趋势相反,呈先降后升趋势,CF处理的Fe元素上升发生于9月,其他处理于8月升高;第3类:大部分处理的Cu(图7)、K(图8)元素含量基本呈上升趋势(CF处理的K元素于9月下降后次月上升);第4类:各处理的Ni(图9)、Co(图10)元素含量呈先降后升趋势。

沼液叶面喷施(7月数据),80%沼液处理的K、Ca、Mg、Na、Ni含量,50%沼液处理的Fe含量显著高于其他沼液叶面喷施处理( $P<0.05$ ),且显著高于

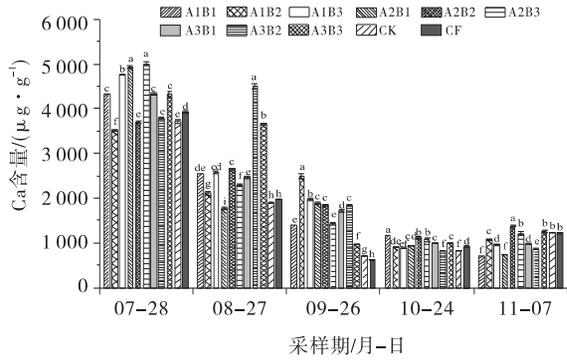


图 1 生长期 Ca 元素动态

Fig. 1 Dynamics of Ca element during the growth period

注:相同采样期内不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著,下同。

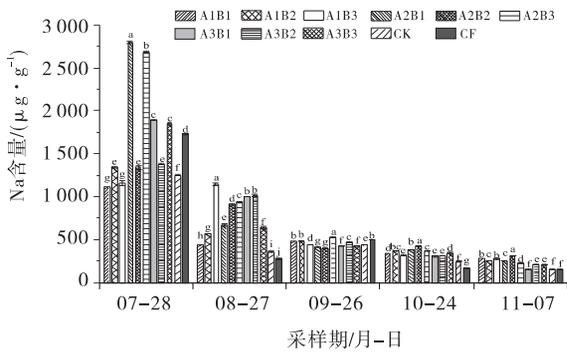


图 2 生长期 Na 元素动态

Fig. 2 Dynamics of Na element during the growth period

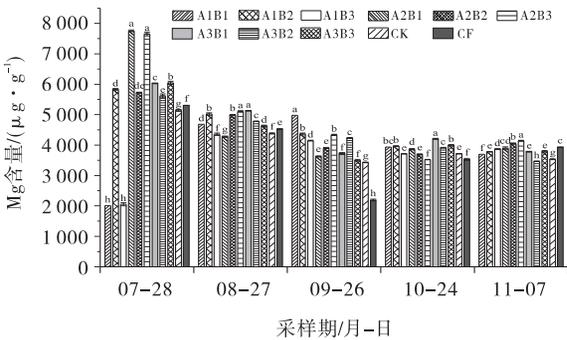


图 3 生长期 Mg 元素动态

Fig. 3 Dynamics of Mg element during the growth period

CF、CK 处理( $P < 0.05$ )。各处理的 Mn、Co 含量无显著变化。Zn、Cu 含量以 CF 处理值最高,显著高于其他沼液处理( $P < 0.05$ )。

土壤施肥后(8月数据),大部分沼液处理相比 CF、CK 处理,显著促进黄芪根中 Fe、Zn、Cu、Ca、Mg、Na、Mn 的积累( $P < 0.05$ )。其中,80%沼液土壤施肥(A2B2)处理的 Fe、Mn 含量,100%沼液配施(A1B3)处理的 Zn、Na 含量,100%沼液土壤施肥(A1B2)处理的 K 含量,50%沼液土壤施肥(A3B2)处理的 Ca 含量,

50%沼液叶面喷施(A3B1)及 80%沼液配施(A2B3)处理的 Mg 含量均显著高于其他 10 个处理( $P < 0.05$ )。

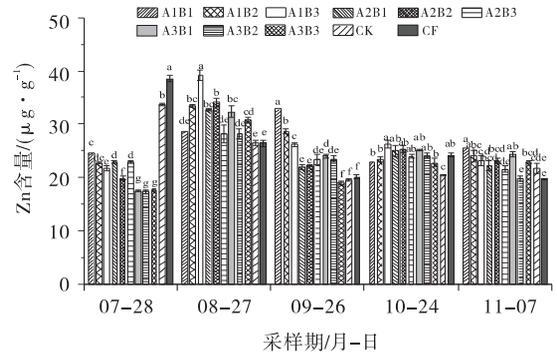


图 4 生长期 Zn 元素动态

Fig. 4 Dynamics of Zn element during the growth period

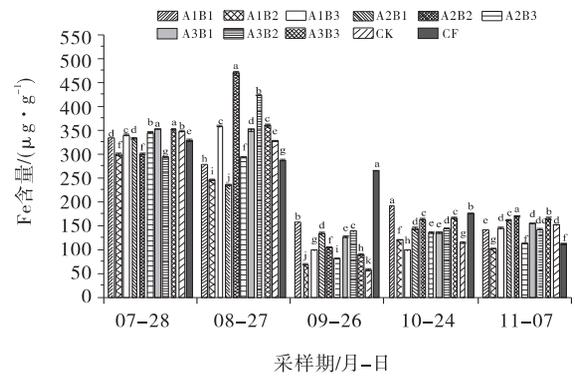


图 5 生长期 Fe 元素动态

Fig. 5 Dynamics of Fe element during the growth period

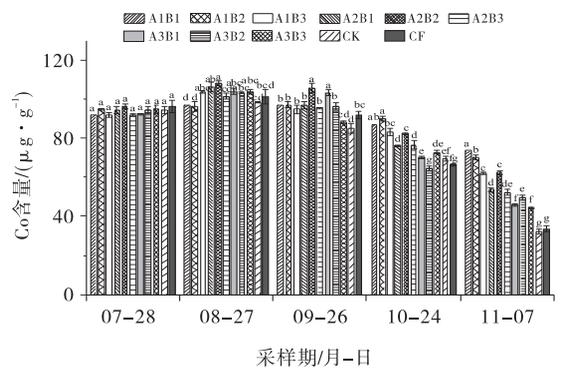


图 6 生长期 Co 元素动态

Fig. 6 Dynamics of Co element during the growth period

9月数据显示,A2B2处理的 Mn、Co 含量,100%叶面喷施(A1B1)处理的 Zn、Mg 含量,A1B2处理的 Ca 含量,A1B3处理的 K 含量,A2B3处理的 Na、Ni 含量,A3B2处理的 Cu 含量分别显著高于 CF 处理 63.98%、126.87%、298.33%、164.64%、6.24%、57.72%、19.39% ( $P < 0.05$ )。CF 处理的 Fe 含量显著高于其他 10 个处理( $P < 0.05$ ),且平均高出

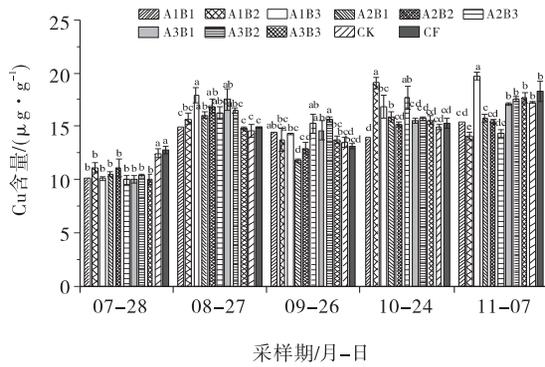


图7 生长期 Cu 元素动态

Fig. 7 Dynamics of Cu element during the growth period

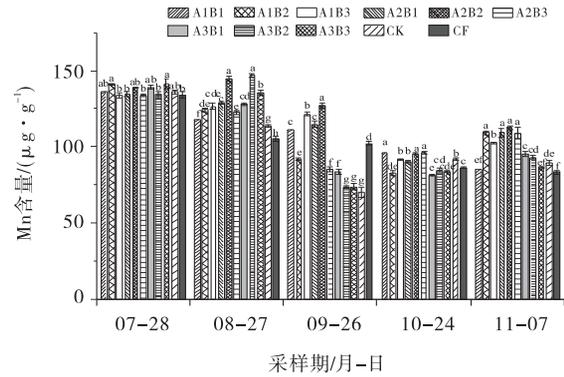


图10 生长期 Mn 元素动态

Fig. 10 Dynamics of Mn element during the growth period

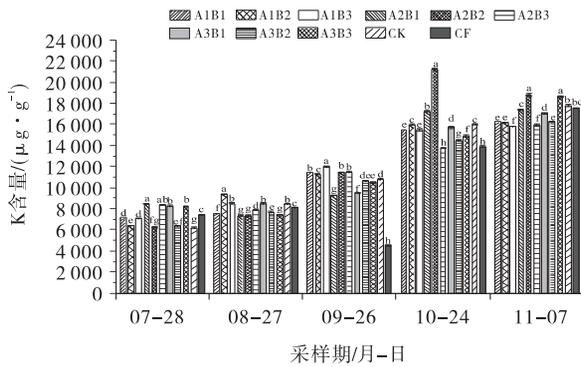


图8 生长期 K 元素动态

Fig. 8 Dynamics of K element during the growth period

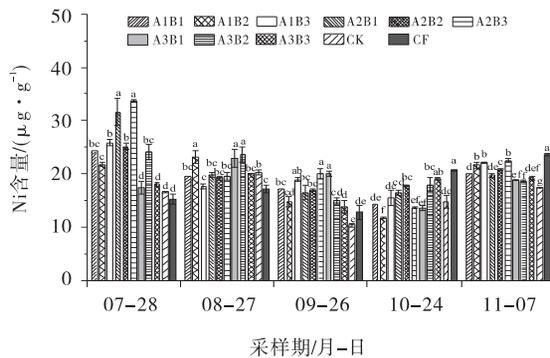


图9 生长期 Ni 元素动态

Fig. 9 Dynamics of Ni element during the growth period

采收期数据(11月)表明,A2B2处理的Fe、K、Ca、Na、Mn含量均显著高于其他处理(除A3B3的K含量,A2B1、A1B2、A2B3处理的Mn含量与之相比无显著差异外),且分别显著高于CF处理51.15%、7.19%、13.24%、100.81%、10.65%。A2B1处理的Cu含量,A2B3处理的Mg含量,A1B1处理的Zn、Co含量均分别显著高于其他10个处理( $P < 0.05$ )。但值得注意的是,CF处理的Ni含量显著高于其他10个处理( $P < 0.05$ ),且平均高出沼液各处理13.69%。

### 2.2 不同沼液处理对采收期黄芪根有效成分含量的影响

不同沼液处理对采收期黄芪根7种有效成分含量影响不同(表3)。其中,A2B2处理的4种黄酮类成分含量较高,显著高于CK、CF处理( $P < 0.05$ )。A1B1处理的黄芪甲苷含量较高,显著高于其他10个处理,并显著高于CF处理54.87%( $P < 0.05$ )。

### 2.3 相关性分析

对采收期11个处理的10种无机元素及7种有效成分含量进行Person相关性分析,结果表明(表4),Fe与毛蕊异黄酮葡萄糖苷、芒柄花苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素呈显著正相关,其相关系数分别为0.572,0.529,0.535,0.639。Na与芒柄花素呈显著正相关,与黄芪皂苷Ⅲ存在显著负相关。Mg与芒柄花苷、毛蕊异黄酮呈显著负相关,其相关系数分别为-0.613,-0.601。此外,无机元素之间也存在相关性。Na与Ni、Co、Mn呈显著正相关。Mn与Mg,Co与Zn,Ca与K均呈显著正相关。

### 2.4 正交偏最小二乘法判别分析(OPLS-DA)分析

为筛选沼液处理与CF、CK处理的差异元素,采

60.26%。

10月数据分析可知,CF处理的Ni含量显著高于其他10个处理( $P < 0.05$ ),处理的Zn含量与其他沼液处理相比,无显著变化,但显著高于CK处理( $P < 0.05$ )。A2B2处理的K、Na、Mn含量,A1B1处理的Fe、Ca含量,A1B2处理的Cu、Co含量均较高,分别显著高于CF、CK处理( $P < 0.05$ )。其他沼液处理(除A1B1外的)Fe含量,A1B1处理的Cu含量,A3B2处理的Ca含量,A3B1处理的Mn含量均分别显著低于CF处理( $P < 0.05$ )。

用SIMCA14.1软件分别对生长期黄芪无机元素含量进行OPLS-DA分析。选择变量重要性投影(VIP)值>1的元素,作为分类的关键依据。结果可知(图

11),Ca、Na、Mn、Fe、Mg元素VIP值>1,表明以上元素是区别沼液、CF、CK处理的主要特征元素。

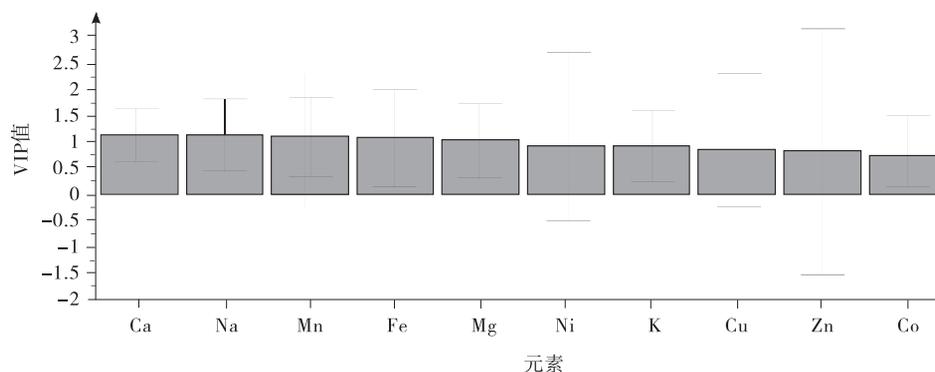


图11 10种无机元素变量VIP值

Fig. 11 VIP values of 10 inorganic elements

表3 采收期各处理黄芪根中有效成分含量

Table 3 Content of active ingredients in different treatment samples of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* from harvesting period

处理	毛蕊异黄酮葡萄糖苷/(mg·g <sup>-1</sup> )	毛蕊异黄酮/(mg·g <sup>-1</sup> )	黄芪甲苷/(mg·g <sup>-1</sup> )	芒柄花苷/(μg·g <sup>-1</sup> )	芒柄花素/(μg·g <sup>-1</sup> )	黄芪皂苷III/(μg·g <sup>-1</sup> )	黄芪皂苷II/(μg·g <sup>-1</sup> )
A1B1	0.52±0.00 <sup>c</sup>	0.28±0.00 <sup>c</sup>	1.27±0.01 <sup>a</sup>	14.18±0.07 <sup>c</sup>	0.59±0.00 <sup>b</sup>	9.48±0.09 <sup>d</sup>	5.39±0.15 <sup>i</sup>
A1B2	0.42±0.01 <sup>f</sup>	0.24±0.00 <sup>f</sup>	0.97±0.00 <sup>de</sup>	12.57±0.03 <sup>f</sup>	0.46±0.00 <sup>b</sup>	7.44±0.02 <sup>e</sup>	14.31±0.29 <sup>c</sup>
A1B3	0.35±0.01 <sup>g</sup>	0.24±0.00 <sup>f</sup>	0.93±0.00 <sup>e</sup>	12.10±0.05 <sup>g</sup>	0.49±0.00 <sup>g</sup>	5.82±0.13 <sup>f</sup>	7.60±0.04 <sup>f</sup>
A2B1	0.51±0.01 <sup>cd</sup>	0.27±0.04 <sup>cd</sup>	0.99±0.03 <sup>de</sup>	13.63±0.29 <sup>d</sup>	0.58±0.00 <sup>c</sup>	7.37±0.24 <sup>e</sup>	7.11±0.13 <sup>g</sup>
A2B2	0.65±0.00 <sup>a</sup>	0.31±0.00 <sup>b</sup>	1.15±0.00 <sup>b</sup>	15.40±0.03 <sup>b</sup>	0.66±0.00 <sup>a</sup>	9.91±0.13 <sup>c</sup>	8.91±0.04 <sup>d</sup>
A2B3	0.33±0.00 <sup>g</sup>	0.18±0.00 <sup>g</sup>	1.07±0.01 <sup>c</sup>	8.51±0.08 <sup>h</sup>	0.39±0.00 <sup>i</sup>	7.30±0.01 <sup>e</sup>	13.86±0.02 <sup>c</sup>
A3B1	0.43±0.01 <sup>f</sup>	0.26±0.00 <sup>e</sup>	1.11±0.04 <sup>bc</sup>	12.80±0.07 <sup>ef</sup>	0.50±0.00 <sup>f</sup>	11.45±0.12 <sup>b</sup>	18.17±0.05 <sup>b</sup>
A3B2	0.60±0.00 <sup>b</sup>	0.34±0.00 <sup>a</sup>	1.07±0.02 <sup>c</sup>	16.39±0.04 <sup>a</sup>	0.56±0.03 <sup>d</sup>	7.34±0.09 <sup>e</sup>	7.19±0.14 <sup>g</sup>
A3B3	0.49±0.00 <sup>de</sup>	0.27±0.00 <sup>de</sup>	1.24±0.02 <sup>a</sup>	13.13±0.12 <sup>e</sup>	0.52±0.00 <sup>e</sup>	7.32±0.22 <sup>e</sup>	6.23±0.06 <sup>h</sup>
CF	0.47±0.01 <sup>e</sup>	0.28±0.00 <sup>c</sup>	0.82±0.02 <sup>f</sup>	13.89±0.06 <sup>cd</sup>	0.45±0.01 <sup>h</sup>	10.29±0.08 <sup>c</sup>	24.35±0.33 <sup>a</sup>
CK	0.43±0.01 <sup>f</sup>	0.26±0.00 <sup>e</sup>	1.00±0.01 <sup>d</sup>	12.68±0.10 <sup>f</sup>	0.49±0.00 <sup>g</sup>	16.71±0.51 <sup>a</sup>	8.27±0.03 <sup>e</sup>

注:同列不同小写字母代表0.05水平。

### 3 讨论

#### 3.1 不同沼液处理对生长期黄芪根无机元素含量的影响

无机元素与植物生长密切相关,植物在不同生育时期对无机元素的需求不同<sup>[18]</sup>。本研究结果表明,相比其他月份,8月土壤施肥后,大部分沼液处理可迅速促进黄芪根中Zn、Fe的积累,且效果显著优于化肥处理( $P<0.05$ )。表明Zn、Fe元素含量直接受沼液灌溉的影响,同时说明沼液作为水溶性有机肥,可提高土壤中Fe、Zn的有效性,从而促进黄芪根对Fe、Zn的吸

收和转化,补充生长所需的营养元素,这与Akther<sup>[19]</sup>、柴彦君<sup>[20]</sup>在番茄、芦笋上的研究结果相一致。9、10月Fe、Zn、Ca、Na、Mg、Co、Mn元素的含量均低于8月,分析原因可能是生长后期黄芪对营养元素的需求降低,或参与黄芪次生代谢产物的合成所致<sup>[3]</sup>。

植物生长发育是多种营养元素作用的结果。本研究发现,相比化肥处理,适宜的沼液浓度及施用方式可显著促进黄芪根中K、Mg、Ca、Na、Zn、Fe、Cu元素的富集( $P<0.05$ )。而Na、Fe、K、Mg、Ca能促进植物叶绿素的合成、增强光合作用<sup>[21-24]</sup>,同时Na、K可维持植物体内的渗透平衡<sup>[25-26]</sup>,Cu参与植物体内的氧化

表 4 采收期黄芪根有效成分和无机元素含量相关性分析  
 Table 4 Correlation analysis of effective components and inorganic element contents of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* roots during harvesting period

No	Ni	Fe	Co	Mn	Na	Mg	Ca	K	Cu	Zn	黄芪甲苷	黄芪皂苷 II	黄芪皂苷 III	毛蕊异黄酮葡萄糖苷	芒柄花苷	芒柄异黄酮	毛蕊异黄酮	芒柄异黄酮	芒柄素	花苷	黄酮
Ni	1																				
Fe	-0.039	1																			
Co	0.507	-0.105	1																		
Mn	0.694**	-0.037	0.472	1																	
Na	0.631*	0.166	0.860**	0.583*	1																
Mg	0.467	-0.156	0.178	0.549*	0.339	1															
Ca	-0.318	-0.040	-0.392	0.082	-0.177	0.388	1														
K	-0.400	0.603*	-0.419	-0.122	-0.106	0.126	0.581*	1													
Cu	-0.448	0.310	-0.478	-0.508	-0.341	-0.307	-0.006	0.099	1												
Zn	0.038	0.199	0.675*	0.147	0.437	0.065	-0.255	-0.091	-0.329	1											
黄芪甲苷	0.064	0.246	0.366	-0.206	0.308	0.150	-0.091	0.183	-0.226	0.404	1										
黄芪皂苷 II	-0.393	0.011	-0.499	-0.438	-0.330	0.170	0.128	0.424	0.475	-0.446	-0.015	1									
黄芪皂苷 III	-0.318	-0.114	-0.416	0.050	-0.564*	-0.197	0.322	0.020	-0.134	0.013	-0.566*	-0.359	1								
毛蕊异黄酮	-0.063	0.572*	0.104	-0.045	0.301	-0.321	-0.039	0.513	-0.094	-0.039	0.362	0.031	-0.298	1							
葡萄糖苷																					
芒柄花苷	-0.306	0.529*	0.043	-0.233	0.149	-0.613*	-0.210	0.362	0.202	-0.034	0.146	0.100	-0.229	0.892**	1						
毛蕊异黄酮	-0.285	0.535*	-0.033	-0.254	0.104	-0.601*	-0.160	0.367	0.249	-0.144	0.164	0.111	-0.243	0.903**	0.987**	1					
芒柄花素	0.088	0.639*	0.356	0.064	0.551*	-0.055	-0.213	0.434	-0.023	0.229	0.476	0.145	-0.543*	0.865**	0.774**	0.751**	1				

注: \*、\*\*分别表示在 0.05、0.01 水平相关显著。

还原反应及氮的代谢<sup>[27]</sup>, Zn可促进生殖器官的发育并增强植株的抗逆性<sup>[28]</sup>。前期盆栽及种子试验表明, 沼液处理相比化肥, 能显著提高黄芪叶绿素含量, 抗氧化酶活性及渗透调节物质含量<sup>[16]</sup>。本次大田试验也得到了盆栽试验相同的结果。推测沼液施用后增加了黄芪对无机元素的吸收, 改变其生长发育过程, 促进了黄芪营养物质的累积。沼液中无机元素含量测定结果(K、Mg、Ca、Na、Fe元素含量较高)进一步验证了上述推测结果。说明, 在改善黄芪生长方面, 沼液优于化肥处理。

### 3.2 不同沼液处理对采收期黄芪根有效成分含量的影响

黄酮和皂苷常作为黄芪药材质量评价的指标性成分<sup>[29]</sup>。本研究结果表明, 施用适宜的沼液有利于采收期黄芪根中皂苷类和黄酮类成分的累积。其中80%沼液土壤施肥处理的毛蕊异黄酮葡萄糖苷、毛蕊异黄酮、芒柄花苷、芒柄花素及黄芪甲苷成分含量分别显著高于化肥处理36.19%、11.53%、10.90%、46.60%、39.57% ( $P < 0.05$ )。与课题组前期盆栽获得适宜的沼液浓度仅可促进黄芪根中皂苷类成分的富集结果有所不同。分析原因与黄芪生长后期及时补充沼液, 满足其生长所需营养有关。

### 3.3 黄芪根无机元素和有效成分含量相关性分析

无机元素作为药用植物有效成分的构成因子, 影响其化学成分的合成与积累, 最终影响中药材的品质<sup>[30-31]</sup>。本研究发现, 各处理黄芪根中无机元素含量与有效成分含量间存在密切相关关系。Fe含量与毛蕊异黄酮葡萄糖苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素成分含量间存在显著正相关关系; Na含量与芒柄花素含量呈显著正相关, 与黄芪皂苷Ⅲ含量呈显著负相关, Mg含量与芒柄花苷、毛蕊异黄酮含量呈显著负相关, 说明Fe、Na元素含量的升高可能促进毛蕊异黄酮葡萄糖苷、毛蕊异黄酮、芒柄花素的累积或合成, 进而提升黄芪品质。而Mg元素含量的升高可能抑制毛蕊异黄酮、芒柄花苷的积累与合成。说明Mg元素的积累可能不利于黄芪品质的改善。这一推测还需通过深入研究进一步验证。

## 4 结论

综上, 合理的沼液施用模式可引起黄芪根中无机

元素的富集(各元素测定值均低于《中国药典》规定值), 促进黄芪生长, 刺激黄芪体内次生代谢产物的生成与积累, 进而提高黄芪质量。其中Ca、Na、Mn、Fe、Mg元素是造成沼液处理与其他处理差异的主要特征元素。

### 参考文献:

- [1] 徐璐, 汪涛, 郭巧生, 等. 响应面法优化超声辅助法提取昆仑雪菊色素的工艺研究[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(24): 4792-4797.
- [2] 张儒, 张变玲, 谢涛, 等. 响应面法优化人参不定根中总皂苷的提取工艺[J]. 天然产物研究与开发, 2015, 27(4): 726-731.
- [3] 魏小成, 李成义, 周瑞娟, 等. 无机元素与中药关系研究进展[J]. 中国中医药信息杂志, 2022, 29(7): 140-144.
- [4] 李娇, 张学英, 时连辉, 等. 鸭粪沼液施用浓度对土壤肥力及芹菜生长的影响[J]. 山东农业科学, 2021, 53(12): 130-136.
- [5] Liang X, Wang C, Wang H, *et al.* Biogas slurry topdressing as replacement of chemical fertilizers reduces leaf senescence of maize by up-regulating tolerance mechanisms [J]. *Journal of Environmental Management*, 2023, 344: 118433.
- [6] Zheng J, Qi X, Shi C, *et al.* Tomato Comprehensive Quality Evaluation and Irrigation Mode Optimization with Biogas Slurry Based on the Combined Evaluation Model [J]. *Agronomy*, 2022, 12: 1391.
- [7] 何自涵, 周艳丽, 崔彦如, 等. 沼液施肥对黄瓜幼苗质量和土壤化学性状的影响[J]. 东北农业科学, 2022, 47(2): 124-128.
- [8] 聂新军, 金娟, 刘银秀, 等. 农田施用沼液养分损失及其防治对策研究[J]. 浙江农业科学, 2023, 64(8): 2014-2017.
- [9] Wang C, Zhao X, Li Q, *et al.* Alleviation of root rot pathogenicity in the continuous cropping soil of *Panax notoginseng* by biogas slurry flooding and infiltration treatments [J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2024, 24: 337-348.
- [10] 傅开阳. 不同林分条件与施肥方式对铁皮石斛生长、产量与品质的影响[J]. 现代园艺, 2023, 46(18): 7-9.
- [11] 王鹏, 宁满宏, 李安平, 等. 黄芪出口价格趋势分析[J]. 中国现代中药, 2014(7): 577-578.
- [12] 杨宏昕, 张春霞, 魏慧, 等. 黄芪栽培研究进展[J]. 临床合理用药杂志, 2015, 8(2): 180-181.

- [13] Bi Y, Bao H, Zhang C, *et al.* Quality control of Radix Astragali (The Root of *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*) along its value chains[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2020, 11:562376.
- [14] 刘国胜. 沼渣、沼液对黄芪施用增产效果试验研究[J]. *甘肃农业*, 2009(6):17—18.
- [15] 王艳霞, 刘国胜, 王永生, 等. 沼液在黄芪上的叶面喷施效果试验初报[J]. *中国沼气*, 2014, 32(2):56—57.
- [16] 陆国弟, 杨扶德, 郑健, 等. 沼液对蒙古黄芪抗逆生理指标及药用活性成分含量的影响[J]. *西北植物学报*, 2019, 39(12):2235—2243.
- [17] 陆国弟, 杨扶德, 王惠珍, 等. 沼液浸种对蒙古黄芪种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2019(5):155—162.
- [18] 哈雪, 张金青, 陈奋奇, 等. 草地早熟禾小穗对矿质元素的吸收利用[J/OL]. *草原与草坪*, 1—10[2024-03-25]. <https://kns-cnki-net.webvpn.gszy.edu.cn/kcms/detail/62.1156.S.20240320.0902.002.html>.
- [19] Akther M S, Das U, Tahura S, *et al.* Regulation of Zn uptake and redox status confers Zn deficiency tolerance in tomato[J]. *Scientia Horticulturae*, 2020, 273:109624.
- [20] 柴彦君, 张睿, 江建锋, 等. 沼液化肥配施对芦笋地土壤肥力及芦笋品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2023, 39(5):120—127.
- [21] 陈植青, 贺超, 闫滨滨, 等. 营养元素对菘蓝生长特性的影响[J]. *中国现代中药*, 2022, 24(8):1513—1524.
- [22] 李俊成, 于慧, 杨素欣, 等. 植物对铁元素吸收的分子调控机制研究进展[J]. *植物生理学报*, 2016, 52(6):835—842.
- [23] 李明晶, 孙华云, 刘亦凡, 等. 镁在植物生长中的作用及镁肥[J]. *硫磷设计与粉体工程*, 2009(4):36—39.
- [24] 杜文华, 田新会, 曹致中. 施磷、钾肥及微肥对紫花苜蓿种子产量影响的研究进展[J]. *草原与草坪*, 2006, 26(6):15—18.
- [25] 平文超, 徐婧, 曹平平, 等. 外源钾对盐胁迫下植物生长和生理特征影响的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2023, 39(9):100—105.
- [26] Johnson R, Vishwakarma K, Hossen M S, *et al.* Potassium in plants: Growth regulation, signaling, and environmental stress tolerance [J]. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2022, 172:56—69.
- [27] 殷山红, 姚春霞, 张菊, 等. 不同有机肥处理对铜元素在土壤—蔬菜系统的累积及土壤形态分配的影响[J]. *土壤通报*, 2019, 50(1):183—190.
- [28] 朱盼盼, 马彦平, 周忠雄, 等. 微量元素锌与植物营养和人体健康[J]. *肥料与健康*, 2021, 48(5):16—18, 23.
- [29] 王祯, 张俊令, 焦宏基, 等. 黄芪有效成分的药理作用与质量控制研究进展[J]. *药物评价研究*, 2023, 46(4):917—924.
- [30] 刘岩, 李连泰, 计小清, 等. 土壤中无机元素对不同产地黄芩中无机元素和黄芩苷量的影响[J]. *中草药*, 2017, 48(6):1225—1228.
- [31] 郁万文, 曹福亮, 吴广亮. 镁、锌、钼配施对银杏苗叶生物量和药用品质的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(4):981—989.

## Study on the effects of biogas application on the accumulation of inorganic elements and active ingredients in *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*

LU Guo-di, YANG Fu-de\*, HOU Jia, CHEN Hui

(Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730101, China)

**Abstract:** [Objective] This study investigates the effect of biogas slurry application on the accumulation of ten inorganic elements in *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* during growth, and analyzes the correlation be-

tween these inorganic elements and active ingredients. 【Method】 The impact of biogas slurry concentration on the accumulation of inorganic elements and active compounds in *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* was examined using three application methods: foliar spraying, soil fertilization and a combination of both. 【Result】 Biogas slurry application significantly promoted the accumulation of inorganic elements in *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*. When biogas slurry was applied solely as foliar spray, the 80% concentration treatment notably increased the contents of potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sodium (Na) and nickel (Ni), performing significantly better than the other treatments ( $P < 0.05$ ). In soil fertilization treatments, the harvest data revealed that 80% biogas slurry topdressing treatment resulted in significantly higher concentrations of zinc (Zn), iron (Fe), K, Ca, Na, and manganese (Mn) compared to the other 10 treatments ( $P < 0.05$ ). Conventional fertilization yielded the highest Ni content in *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus* compared to other treatments ( $P < 0.05$ ). Correlation analysis indicated significant positive correlations between Fe and the contents of calycosin-7-O- $\beta$ -D-glycosides, ononin, calycosin, and formononetin. Na showed a significant positive correlation with formononetin, while Mg was negatively correlated with ononin and formononetin. Additionally, Na had a negative correlation with astragaloside III content. Discriminant analysis identified Ca, Na, Mn, Fe, and Mg as the primary elements responsible for the differences between the biogas slurry and other treatments. 【Conclusions】 Optimal concentrations and application methods of biogas slurry can enhance the accumulation of inorganic elements in *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*, with the contents of active ingredients closely linked to these inorganic elements.

**Key words:** biogas slurry; *Astragalus membranaceus* var. *mongholicus*; inorganic elements; active ingredients; correlation

(责任编辑:刘建荣)