

## 不同环境栽培对天麻土壤理化性质、微生物、代谢物的影响

王佩<sup>1</sup>, 孟广云<sup>1</sup>, 毛如志<sup>1</sup>, 杨宽<sup>1</sup>, 苏照徽<sup>1</sup>, 王忠巧<sup>2</sup>, 杨顺强<sup>3</sup>, 黄红苹<sup>1</sup>, 何霞红<sup>1,4\*</sup>

(1. 云南农业大学, 昆明 650201; 2. 昭通市彝良县林业草业局, 云南昭通 657600;

3. 昭通学院, 云南昭通 657000; 4. 西南林业大学, 昆明 650224)

**[摘要]** 目的: 研究不同生境栽培天麻对土壤理化性质、微生物及代谢物的影响, 为后期天麻多环境种植提供科学依据。方法: 采集不同栽培环境天麻块茎际土壤, 应用土壤农化分析方法、平板菌落计数法和气相色谱飞行时间质谱法(GC-TOF-MS)非靶代谢组学等方法分析土壤养分、微生物的数量与代谢物的差异。结果: 土壤理化性质分析表明, 土壤含水率以杂木林最高; 土壤pH, 速效钾, 有效磷含量以杂木林下最高, 电导率、全氮、碱解氮、有机质含量以松林最高; 土壤微生物数量分析表明, 可培养微生物依次为细菌、放线菌和真菌, 其中杂木林的细菌数量、微生物总量最多; 荒坡地的真菌、放线菌数量最多; 土壤中的细菌/真菌(B/F)最大的为松林、最小的为荒坡地; 土壤代谢组结果表明, 杂木林(Z组), 松林(S组), 荒坡地(HD组)中的土壤代谢物组成和数量各有不同; S组-Z组, HD组-Z组, HD组-S组通过正交偏最小二乘法-判别分析(OPLS-DA)比较后, 分别筛选到18, 35, 24种差异代谢物, 再通过京都基因与基因组百科全书(KEGG)通路富集得到5条, 9条, 13条代谢通路。相关性分析表明, 土壤理化性质和土壤微生物数量及代谢组存在显著的因果关系。结论: 天麻在不同环境种植后, 其土壤理化性质、微生物数量及代谢物变化有显著差异, 其种植适宜度为杂木林>松林>荒坡; 土壤理化性质与土壤微生物数量是驱动土壤代谢物变化的重要影响因素, 这表明栽培环境调控土壤理化特征和微生物特征是维持天麻-土壤-微生物共生系统的重要机制。

**[关键词]** 天麻; 栽培环境; 土壤理化性质; 土壤微生物数量; 土壤代谢物

**[中图分类号]** R284.2; R289; R22; R2-031; R33 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2021)14-0164-11

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20210915

**[网络出版地址]** <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20210520.1052.001.html>

**[网络出版日期]** 2021-05-20 13:43

### Soil Physical and Chemical Properties, Microorganisms and Metabolites in Different Culture Environments of *Gastrodia elata*

WANG Pei<sup>1</sup>, MENG Guang-yun<sup>1</sup>, MAO Ru-zhi<sup>1</sup>, YANG Kuan<sup>1</sup>, SU Zhao-hui<sup>1</sup>, WANG Zhong-qiao<sup>2</sup>,  
YANG Shun-qiang<sup>3</sup>, HUANG Hong-ping<sup>1</sup>, HE Xia-hong<sup>1,4\*</sup>

(1. Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Forestry and Grassland Administration of Yiliang County, Zhaotong 657600, China;

3. Zhaotong College, Zhaotong 657000, China;

4. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**[Abstract]** **Objective:** To study the soil physical and chemical properties, microorganisms, and metabolites in different culture environments of *Gastrodia elata*, so as to provide scientific basis for subsequent cultivation of *G. elata* in multiple environments. **Method:** The tubersphere soil of *G. elata* cultured in different environments was collected for analyzing the soil nutrients, microbial numbers, and metabolite differences using the agrochemical method, plate-count method, and gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry

**[收稿日期]** 20210105(003)

**[基金项目]** 现代农业产业技术体系建设专项(CARS-21); 国家重点研发计划项目(2018YFD0201100); 科技人才与平台计划(院士专家工作站)项目(2018IC063); 云南省重大科技专项(2019ZG00901)

**[第一作者]** 王佩, 在读硕士, 从事农业生物多样性研究, E-mail: 510970608@qq.com

**[通信作者]** \* 何霞红, 博士, 教授, 从事农业生物多样性控制病害研究, E-mail: hexiahong@Hotmail.com

(GC-TOF-MS)-based non-targeted metabonomic approach. **Result:** The analysis of soil physical and chemical properties revealed the highest soil moisture, pH, available potassium, and available phosphorus in the spinney and the highest electrical conductivity, total nitrogen, alkali-hydrolyzable nitrogen, and organic matter in the pinewood. As demonstrated by the quantitative analysis of soil microorganisms, the cultivable microorganisms were bacteria, actinomycetes, and fungi, with the bacterial population and total microbial biomass in the spinney and the number of fungi and actinomycetes in the barren slope detected to be the largest. The ratio of bacteria to fungi (B/F value) in the pinewood was the highest, while that in the barren slope was the lowest. The results of metabonomic research demonstrated that the compositions and quantities of soil metabolites in the spinney (Z group), pinewood (S group), and barren slope (HD group) varied. Through comparisons between S and Z groups, between HD and Z groups, as well as between HD and S groups by orthogonal partial least squares discriminant analysis (OPLS-DA), 18, 35, and 24 differential metabolites were separately screened out, and the Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) pathway enrichment analysis yielded 5, 9, and 13 metabolic pathways. There existed a significant causal relationship of the soil physical and chemical properties and microbial numbers with the metabolites. **Conclusion:** The soil physical and chemical properties, microbial numbers, and metabolite changes differed significantly in different culture environments of *G. elata*, which were sorted by the suitability in a descending order as follows: spinney > pinewood > barren slope. The soil physical and chemical properties and microbial numbers are the crucial factors driving changes in soil metabolites, suggesting that regulating the soil physical and chemical characteristics and microbial characteristics in the culture environment is an important mechanism for maintaining the *G. elata*-soil-microbial symbiotic system.

[**Keywords**] *Gastrodia elata*; culture environment; soil physical and chemical properties; soil microbial numbers; soil metabolites

天麻 *Gastrodia elata* 属兰科多年生草本植物, 又名赤箭、独摇芝、离母、神草、鬼督邮、明天麻、定风草、白龙皮等, 是我国传统的名贵中药材, 有着“神草”的美誉<sup>[1]</sup>。天麻药用部位是其干燥块茎<sup>[2]</sup>, 具有较高的药用和保健价值, 能治疗头晕目眩、肢体麻木、小儿惊风等证, 天麻长期服用有延年益寿的功效<sup>[3]</sup>。

众所周知, 中药材具有道地属性, 生态环境与中药材的品质和药效紧密相关<sup>[4]</sup>。云南昭通是天麻的栽培起源地及主产地, 其独特品质, 享誉海内外, 主要得益于不可复制的地理环境、气候、土壤等生态条件, 这是因为天麻的生长发育需要特定的环境和营养条件, 对自然气候和地势条件有较为严格的要求<sup>[5]</sup>。过去天麻一直依赖于野生资源, 近年来, 人们对天麻需求迅速增长, 野生天麻被大量采挖, 导致天麻野生资源枯竭。因此, 从二十世纪五十年代开始科研人员探索了天麻人工栽培技术, 实现了人工培养蜜环菌, 并接种到新鲜树皮树枝上吸收营养, 从而为天麻生长发育提供充足营养<sup>[6]</sup>。目前在云南天麻主产区, 天麻人工种植主要通过集约化方式在荒坡和农田种植, 但由于土地资源有限, 且在

天麻种植过程中存在连作障碍, 需更换种植地块, 才能正常收获天麻, 其轮作年限约为 6~10 年<sup>[7]</sup>, 因此常常出现与农争地的问题。云南森林资源丰富, 可充分利用丰富的林下土地资源进行种植。同时天麻、蜜环菌、土壤三者存在相互作用的关系<sup>[8-9]</sup>, 天麻种植方式也影响土壤微生态环境, 且土壤微生物是土壤生态系统中最活跃的成分, 也是联系植物和土壤养分循环的关键桥梁<sup>[10]</sup>; 土壤微生物还参与物质循环代谢, 间接影响植物生长发育<sup>[11-12]</sup>。现有研究主要集中在对天麻种植地土壤生态因子及土壤微生物群落结构的研究, 谭云等<sup>[13]</sup>分析了不同菌材栽培天麻地土壤微生物和理化性状及其相关性; 田维毅等<sup>[14]</sup>通过比较不同产地野生和栽培天麻生长地土壤微生物群落的生态特征; 徐娇等<sup>[15]</sup>分析不同生境种植天麻前后土壤微生物的群落结构变化。但对于天麻在林下种植, 尤其在何种树林种植的土壤理化、微生物及代谢物存在的变化趋势, 尚无系统研究。本文针对云南天麻主产区的森林环境, 探索了在林下种植天麻的可行性, 同时与传统在荒坡地种植天麻相比较, 明确在不同生态条件下种植天麻, 土壤理化-土壤微生物-土壤代谢组系统

的相互作用和差异变化,以期解析天麻在不同栽培环境下土壤微生态变化,为天麻人工种植选择森林环境提供科学依据,为合理开发利用林下资源提供新视野。

## 1 材料

**1.1 研究地概况** 试验地点位于云南省昭通市永善县塘坝村,海拔为1 990~2 100 m的山林地。中心地理坐标为(103°77′06″E,27°89′16″N),属于中温带气候,年平均气温16.4℃,年降雨量为1 000~1 200 mm,年蒸发量1 070 mm左右。

**1.2 样品采集及处理** 样本采集来源云南昭通永善县杂木林(Z组),松林(S组),荒坡地(HD组)。采挖时间为2020年6月(天麻处于换头期),收集3~5 d未降雨土壤样品。每个处理均随机采集6个生物学重复。

将采挖起来的天麻抖掉多余土壤,采集黏附于天麻块茎上的土壤,混匀后去除杂物,放入5 mL存管并编号,随即放入液氮中用于土壤代谢物测定;采集靠近天麻块茎周围土壤,立即放入自封袋并编号,保鲜带回实验室,去除石子和植株根系,混匀后将每个处理的土样分成2份;1份捻碎后过2.00 mm筛,放在4℃冰箱保存,测定土壤微生物数量;1份风干,将风干土过10目筛和100目筛,用于土壤理化性质测定。

**1.3 试剂与仪器** 试剂pH为4.00,6.86,9.18的校正缓冲液,电导率1 408  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ 的校正缓冲液(上海三信仪表厂);乙酸铵、氯化钾、碳酸氢钠、抗坏血酸、硼酸、重铬酸钾、氯化钠(天津市风船化学试剂科技有限公司);氢氧化钠、七水合硫酸亚铁(四川西陇科学有限公司);无磷活性炭(郑州牛特农业技术有限公司);硫酸(成都市科隆化学品有限公司);酒石酸锶钾(天津市天达净化材料精细化工厂);钼酸铵(天津市化学试剂四厂凯达化工厂);磷酸二氢钾(天津市大茂化学试剂厂);甲基红(天津市化学试剂研究所);溴甲酚绿(国药集团化学试剂有限公司);定氮催化片(山东海能科学仪器有限公司);邻啡罗啉(广东光华科技股份有限公司);孟加拉红培养基(广东环凯微生物科技有限公司,批号1094081);放线菌培养基(青岛高科园海博生物技术有限公司,批号HB8550);营养琼脂培养基(NA,含牛肉浸粉,青岛高科园海博生物技术有限公司,批号01-008A),蛋白胨(北京奥博星生物技术有限责任公司,批号01-001),琼脂(北京康倍斯科技有限公司,批号B0019K0421001H));甲醇(德国CNW

Technologies公司,批号67-56-1);三氯甲烷、吡啶(瑞士Adamas公司,批号分别为67-66-3s,110-86-1);乙酸乙酯(上海申博化工有限公司,批号141-78-6);甲氧铵盐(日本TCI公司,批号593-56-6);核糖醇(美国Sigma公司,批号488-81-3);硅烷化试剂(BSTFA,含1%三甲基氯硅烷,美国REGIS Technologies公司);饱和脂肪酸甲酯(FAMEs,德国Dr. Ehrenstorfer公司)。

AS800型pH计(上海万岛仪器科技有限公司);MP513型电导率仪(上海万岛仪器科技有限公司);FP410型火焰光度计(北京中科科尔仪器有限公司);TS-1型往返式振荡机(海门市其林贝尔仪器制造有限公司);UV-1800型紫外分光光度计(上海美谱达仪器有限公司);Labtec Line型消煮炉(福斯);Kjeltec Sampler 8420型凯氏定氮仪(福斯);DHG-9023A型电热鼓风干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司);MLS-3780型高压蒸汽灭菌锅(日本三洋);LTI-700型低温恒温培养箱(上海爱朗仪器有限公司);7890系列气质联用仪(美国Agilent公司);Agilent DB-5MS色谱柱(250  $\mu\text{m}\times 30\text{ m}$ ,0.25  $\mu\text{m}$ );Heraeus Fresco17型离心机(美国Thermo Fisher Scientific公司);JXFSTPRP-24型球磨机(上海净信科技有限公司);YM-080S型超声仪(深圳市方奥微电子有限公司,480 W,400kHz);LNG-T98型真空干燥仪(太仓市华美生化仪器厂)。

## 2 方法

**2.1 土壤含水率测定**<sup>[16]</sup> 采用烘干称重法,将采集回来的新鲜土样,称取10 g,6次重复,放置在110℃条件下烘干至恒重,并测定土壤含水率。土壤含水率=(土壤湿重-土壤干重)/土壤湿重 $\times 100\%$ 。

**2.2 土壤理化性质测定** ①采用电位法<sup>[17]</sup>测定土壤pH;②根据《土壤农化分析》<sup>[18]</sup>测定土样中的电导率、速效钾、有效磷、全氮、碱解氮和有机质含量。

**2.3 土壤微生物数量测定** 培养真菌采用孟加拉红培养基;培养细菌NA培养基;培养放线菌采用放线菌培养基。

培养基制作方法:孟加拉红培养基(31.6 g,水1 L);NA培养基(蛋白胨10 g,牛肉浸粉3 g,氯化钠5 g,琼脂15 g,水1 L);放线菌培养基(本品37.5 g,水1 L,冷却至50~55℃时,每300 mL培养液加3%的重铬酸钾溶液1 mL)。

微生物数量测定:准确称取土壤样品5.00 g,放入装有无菌水45 mL的锥形瓶中,震荡处理20 min(120  $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ ,常温),得到稀释10倍后的土壤溶液,

用移液枪吸取此液1 mL到装有灭菌水9 mL的试管中,充分混匀,得到稀释度为 $1 \times 10^{-2}$ 的土壤溶液,按此方法稀释度成为 $1 \times 10^{-3}$ , $1 \times 10^{-4}$ , $1 \times 10^{-5}$ 的溶液。采用涂皿法,用移液枪分别取 $1 \times 10^{-2}$ 至 $1 \times 10^{-5}$ 倍的稀释液0.1 mL均匀涂抹在孟加拉红培养基(真菌数量测定),NA培养基(细菌数量测定)和改良高氏1号培养基(放线菌数量测定)上,6次重复,分别在培养箱28 °C倒置培养2~7 d,选择适当稀释度的培养菌落进行计数。微生物数量以每克干土中的微生物数量表示(CFU·g<sup>-1</sup>)<sup>[19]</sup>。菌落数=(平均菌落数×稀释倍数)/(土壤湿重×含水率)×100。

**2.4 土壤代谢物测定** 运用气相色谱-飞行时间质谱联用技术(GC-TOF-MS)<sup>[20-21]</sup>,对采集的天麻块茎际土壤进行代谢组学测定。此测定在上海阿趣生物科技有限公司开展。

**2.4.1 代谢物提取** 称取样品1 g于5 mL离心管中,加入预冷提取液[甲醇-三氯甲烷(3:1)]1 000 μL,再加入乙酸乙酯1 mL及核糖醇5 μL,涡旋30 s;加入钢珠,用球磨仪在35 Hz条件下处理4 min,然后在冰水浴中超声5 min;4 °C离心15 min(1万 r·min<sup>-1</sup>,离心半径8.6 cm);转移上清液至5 mL离心管中,再加入提取液甲醇-三氯甲烷(3:1)1 000 μL和乙酸乙酯1 000 μL,从步骤加入钢珠开始重复,合并所有上清液;在真空浓缩器中干燥提取物,加入甲氧胺盐试剂(甲氧胺盐酸盐,溶于吡啶,质量浓度20 g·L<sup>-1</sup>)30 μL,轻轻混匀后,放入烘箱中80 °C孵育30 min;向每个样品中加入BSTFA(含有1% TMCS)40 μL,将混合物70 °C孵育1.5 h;冷却至室温,向混合的样本中加入FAMES(溶于三氯甲烷)5 μL,随机顺序上机检测。

**2.4.2 土壤代谢物的GC-TOF-MS检测** 分析条件,进样量1.0 μL;不分流模式;隔垫吹扫流速为3.0 mL·min<sup>-1</sup>;载气氦气;柱流速1 mL·min<sup>-1</sup>;柱箱升温程序(50 °C保持1 min,以10 °C·min<sup>-1</sup>的速率升至310 °C,保持8 min);前样口温度280 °C;传输线温度280 °C;离子源温度250 °C;电离电压-70 eV;质量范围 $m/z$  50~500;扫描速率12.5 spectra/s;溶剂延迟6.35 min。

**2.5 数据处理与分析** 使用Microsoft Excel 2016对数据进行分析处理,用SPSS 17.0软件进行统计学分析,用GraphPad Prism 5.0绘图。

采用SIMCA 16.0.2软件(Sartorius Stedim Data Analytics AB)进行统计分析。首先对数据第一主成分进行正交偏最小二乘法-判别分析(OPLS-DA)建

模分析,用7折交叉验证(7-fold cross validation)进行检验,然后用交叉验证后得到的 $R^2Y$ 和 $Q^2$ 对模型有效性进行评判,最后通过置换检验对模型有效性做进一步的检验。采用MetaboAnalyst 4.0软件及京都基因与基因组百科全书(KEGG)通路分析对土壤差异代谢物进行通路富集分析。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同栽培环境的天麻生长地土壤理化性质

**3.1.1 不同栽培环境的天麻生长地土壤含水率及pH分析** 土壤pH和含水率是反映土壤物理性状的2个重要指标,是植物、微生物生长的最基本环境因子。不同栽培环境的天麻生长地土壤的含水率各有不同,最高为Z组52.06%,最低为HD组44.02%;3种栽培环境的天麻生长地pH最高为Z组4.67,最低为S组4.38,见表1。整体呈酸性,符合天麻及其共生蜜环菌生长所需的pH条件,云南昭通天麻产区地块的pH条件与之接近<sup>[22]</sup>。

表1 不同栽培环境的天麻生长地土壤含水率及pH( $\bar{x} \pm s, n=6$ )

Table 1 Results of soil moisture content and pH value of *Gastrodia elata* growing areas in different cultivation environments ( $\bar{x} \pm s, n=6$ )

栽培环境	含水率/%	pH
Z组	52.06±0.33 <sup>a</sup>	4.67±0.11 <sup>a</sup>
S组	50.86±0.22 <sup>b</sup>	4.38±0.08 <sup>c</sup>
HD组	44.02±0.71 <sup>c</sup>	4.48±0.05 <sup>b</sup>

注:同一列不同字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),(表2~3同)。

**3.1.2 不同栽培环境的天麻生长地土壤理化性质分析** 土壤全氮、有效磷、速效钾及有机质是土壤养分的主要物质因素,不仅提供植物生长所需营养元素,同时对土壤构成、维持其保水功能等具有重要作用<sup>[23]</sup>。对3种栽培环境天麻生长地的土样按照1.2项下方法进行土壤理化性质测定,采用SPSS 17.0软件进行Duncan分析,各天麻生长地土壤中各养分含量均有所差异。土壤电导率最高为S组192.56 μS·cm<sup>-1</sup>,最低为Z组159.30 μS·cm<sup>-1</sup>;速效钾含量最高为Z组223.35 mg·kg<sup>-1</sup>,最低为HD组217.99 mg·kg<sup>-1</sup>;有效磷的质量分数最高为Z组7.84 mg·kg<sup>-1</sup>,最低为S组4.87 mg·kg<sup>-1</sup>;全氮的质量分数最高为S组5.58 g·kg<sup>-1</sup>,最低为Z组4.57 g·kg<sup>-1</sup>;有机质的质量分数最高为S组171.93 g·kg<sup>-1</sup>,最低为HD组126.85 g·kg<sup>-1</sup>;土壤碱解氮的质量分数最高为S组434.44 mg·kg<sup>-1</sup>,最低为Z组376.01 mg·kg<sup>-1</sup>,见表2。

表2 不同栽培环境的天麻生长地土壤营养成分分析 ( $\bar{x}\pm s, n=6$ )

Table 2 Analysis results of soil nutrients in different cultivation environments of *Gastrodia elata* ( $\bar{x}\pm s, n=6$ )

栽培环境	电导率/ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	速效钾/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	有效磷/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	全氮/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	有机质/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	碱解氮/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Z组	159.30±10.95 <sup>b</sup>	223.35±1.27 <sup>a</sup>	7.84±0.54 <sup>a</sup>	4.57±0.23 <sup>c</sup>	139.01±4.91 <sup>b</sup>	376.01±9.49 <sup>b</sup>
S组	192.56±15.70 <sup>a</sup>	222.48±5.87 <sup>ab</sup>	4.87±0.78 <sup>b</sup>	5.58±0.05 <sup>a</sup>	171.93±4.43 <sup>a</sup>	434.44±6.06 <sup>a</sup>
HD组	181.67±4.96 <sup>a</sup>	217.99±7.32 <sup>b</sup>	5.42±0.51 <sup>b</sup>	4.94±0.38 <sup>b</sup>	126.85±1.85 <sup>c</sup>	428.78±4.16 <sup>a</sup>

3.2 不同栽培环境的天麻土壤微生物组成 真菌、细菌、放线菌在土壤养分循环及在植物生产生活方面的调控起重要作用。植物种类和栽培环境改变,也会对土壤微生物数量及构成产生影响<sup>[24]</sup>。不种栽培环境的天麻生长地土壤微生物数量及构成存在差异,数量大小顺序为细菌>放线菌>真菌。在这3大菌群中,细菌是各栽培环境下参与物质循环和能量流动的主要类群。通过对3种天麻栽培环境土壤微生物数量比较分析,真菌数量最多为HD组

$4.43\times 10^5$  CFU·g<sup>-1</sup>,最少为S组 $2.68\times 10^5$  CFU·g<sup>-1</sup>;细菌数量最多为Z组 $4.48\times 10^7$  CFU·g<sup>-1</sup>,最少为S组 $3.79\times 10^7$  CFU·g<sup>-1</sup>;放线菌数量最多为HD组 $5.19\times 10^6$  CFU·g<sup>-1</sup>,最少为S组 $2.96\times 10^6$  CFU·g<sup>-1</sup>;微生物总量最多为Z组 $4.94\times 10^7$  CFU·g<sup>-1</sup>,最少为S组 $4.12\times 10^7$  CFU·g<sup>-1</sup>。土壤中细菌/真菌(B/F)能反映微生物群落数量的变化,同时也反映了整个土壤食物网的结构和功能对不同土壤条件的响应<sup>[25]</sup>。B/F最大为S组141.54,最小为HD组92.74,见表3。

表3 不同栽培环境的天麻生长地土壤微生物组成 ( $\bar{x}\pm s, n=6$ )

Table 3 Soil microbial composition of *Gastrodia elata* growing areas in different cultivation environments ( $\bar{x}\pm s, n=6$ )

栽培环境	真菌数量( $\times 10^5$ ) /CFU·g <sup>-1</sup>	细菌数量( $\times 10^7$ ) /CFU·g <sup>-1</sup>	放线菌数量( $\times 10^6$ ) /CFU·g <sup>-1</sup>	微生物总量( $\times 10^7$ ) /CFU·g <sup>-1</sup>	B/F
Z组	3.67±0.03 <sup>b</sup>	4.48±0.06 <sup>a</sup>	4.43±0.04 <sup>b</sup>	4.94±0.06 <sup>a</sup>	122.08±2.69 <sup>b</sup>
S组	2.68±0.01 <sup>c</sup>	3.79±0.03 <sup>c</sup>	2.96±0.05 <sup>c</sup>	4.12±0.03 <sup>c</sup>	141.54±0.73 <sup>a</sup>
HD组	4.43±0.03 <sup>a</sup>	4.11±0.06 <sup>b</sup>	5.19±0.05 <sup>a</sup>	4.65±0.06 <sup>b</sup>	92.74±0.84 <sup>c</sup>

3.3 不同栽培环境的天麻生长地土壤代谢物分析

采集3种栽培环境的天麻生长地块茎际土进行土壤代谢组测定,并将不同栽培环境对土壤代谢的影响进行主成分分析(PCA),有16个样本处于95%置信区间内,杂木林(Z组),松林(S组),荒坡地(HD组)样本的PCA散点组间被很好地区分开,说明对3组样本数据处理是可信的,组间差异显著,组内样本有很好的聚集,但个别样本组内也有差异,见图1。在PCA中,Z组,S组,HD组的土壤代谢均存在差异,S组位于Z组与HD组的中间,且与这两种类型有重叠,而Z组与HD组距离远,二者差异大。

3.3.1 不同栽培环境的天麻生长地土壤代谢差异物分析 3个处理两两之间的土壤代谢物有很大差异。S组-Z组,HD组-Z组,HD组-S组间各筛选出59,87,72种差异代谢物看,其中明确的代谢物分别有18,35,24种,见表4~6。

对3个处理间已知的差异代谢物作维恩分析。S组-Z组在18个已知差异代谢物中,有8个特有的物质,分别为核糖,亚油酸,磷酸甲酯,葡庚糖酸,十五烷酸,羧基脲,苯乙醛,1-乙酰基靛红;HD组-Z组在35个已知差异代谢物中,有20个特有的物质,分

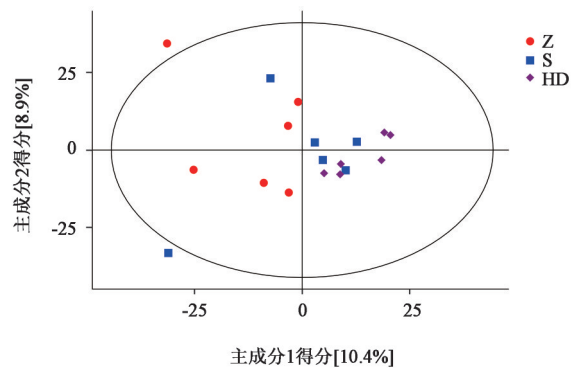


图1 不同栽培环境的天麻生长地土壤代谢PCA

Fig. 1 PCA of soil metabolism in *Gastrodia elata* growing areas in different cultivation environments

别为麦芽糖,蔗糖醇,缬氨酸,异麦芽糖,脱氢抗坏血酸,Z-11-二十碳烯酸,尿素,D-赤酮酸内酯,嘌呤核糖苷,N-乙酰-D-半乳糖胺,瓜氨酸,橙皮素,4-乙酰氨基丁酸, $\beta$ -羟基肉豆蔻酸,2-羟基莠去津,鸟嘌呤,柚皮素,(-)-二氢香芹醇,顺式1,2-二氢-1,2-萘二酚,双缩脲。HD组-S组在24个已知差异代谢物中,有11个特有的物质,分别为山萘酸,肉豆蔻酸,硬脂酸,棕榈酸,癸酸,甲基- $\beta$ -D-吡喃半乳糖苷, $\alpha$ -酮基异己酸,熊果苷,对羟基苯乙醇,亚精胺,2-氧

表4 天麻松林与杂木林(S组-Z组)栽培条件下的差异代谢物

Table 4 Fold changes of different metabolites in pine forest and mixed wood forest

差异代谢物	P	VIP值	变化趋势	lgFC
肌醇	0.027 6	1.82	↑	0.63
核糖	0.022 0	1.91	↑	0.72
丙氨酸	0.023 3	1.56	↑	1.75
N-乙酰-β-D-甘露糖胺	0.023 4	2.07	↑	1.14
亚油酸	0.028 7	1.91	↑	1.33
胸苷	0.012 0	2.06	↑	0.58
磷酸甲酯	0.048 0	1.16	↑	0.84
琥珀酸	0.039 5	1.78	↑	0.59
槐糖	0.005 1	2.12	↑	1.09
环己烯四醇β环氧化物	0.001 4	2.27	↑	0.69
葡庚糖酸	0.028 0	1.88	↑	0.89
十五烷酸	0.033 0	1.76	↑	0.78
2'-脱氧胞苷 5'-三磷酸脱脂产物	0.016 4	1.81	↑	1.32
2-氨基十八烷-1,3-二醇	0.034 2	2.07	↑	17.11
羟基脲	0.035 4	1.47	↑	1.00
苯乙醛	0.037 9	1.81	↓	-0.30
1-乙酰基靛红	0.029 5	1.97	↑	0.41
4',7-二羟基黄酮	0.030 1	1.52	↑	1.82

注:FC:差异倍数。

丁酸;S组-Z组与HD组-Z组有5种共有物质,分别为N-乙酰-β-D-甘露糖胺,槐糖,环己烯四醇β环氧化物,2'-脱氧胞苷5'-三磷酸脱脂产物,2-氨基十八烷-1,3-二醇;S组-Z组与HD组-S组有3种共有物质,分别为肌醇,琥珀酸,4',7-二羟基黄酮;HD组-Z组与HD组-S组有8种共有物质,分别为苯甲酸,甘氨酸,尿嘧啶,3-羟基棕榈酸,β-丙氨酸,N-乙基甘氨酸,D-香芹酮,2-酮己酸;三个组别有2种共有物质胸苷,丙氨酸。

**3.3.2 不同栽培环境的天麻生长地土壤代谢组特征分析** OPLS-DA模型能增强在PCA中观察到的组间的分离情况,3组处理组间的12个样本均处于95%置信区间内,S组与Z组、HD组与Z组及HD组与S组样本沿t[1]P轴明显分开,组间样本比PCA更分散,表明组间代谢物水平差异显著,且分开;置换检验结果,分别为( $R^2Y=0.98, n=6$ ), ( $R^2Y=0.96, n=6$ ), ( $R^2Y=0.98, n=6$ ),接近1,说明建模符合样本数据的真实情况,这3组样本组间差异显著是可靠的。见图2。

**3.3.3 不同栽培环境的天麻生长地土壤差异代谢物通路富集分析** 对3组处理间的差异代谢物进行代谢通路富集分析,S组-Z组富集了5条代谢通路,

HD组-Z组富集了9条代谢通路,HD组-S组的富集了13条代谢通路。其中,HD组-S组有3条特有的代谢通路;HD组-Z组有3条特有的代谢通路;S组-Z组有1条特有的代谢通路,见表7。

**3.4 天麻种植过程中驱动土壤代谢物变化的主要因素分析** 采用SPSS 17.0及MetaboAnalyst 4.0软件分别对不同天麻栽培地土壤理化性质、土壤微生物量、土壤代谢物进行相关性分析。

**3.4.1 土壤理化性质和土壤微生物量相关性分析** 土壤真菌数量与土壤含水率、有机质含量呈显著负相关;细菌数量、微生物总量与土壤pH、速效钾含量、有效磷含量呈显著正相关,与电导率值、全氮含量、碱解氮含量、有机质含量呈显著负相关;放线菌数量与土壤含水率、电导率值、全氮含量、有机质含量呈显著负相关;B/F与土壤含水率、有机质含量呈显著正相关,见表8。

**3.4.2 土壤理化性质和土壤代谢物相关性分析** 土壤含水率与双缩脲,2-羟基莠去津,甘氨酸,尿嘧啶,D-香芹酮,丙氨酸,N-乙基甘氨酸,β-丙氨酸,3-羟基棕榈酸,苯甲酸呈显著正相关,与胸苷呈显著负相关;土壤pH与胸苷,环己烯四醇β环氧化物,槐糖,2'-脱氧胞苷5'-三磷酸脱脂产物,2-氨基十八烷-

表 5 天麻荒坡地与杂木林(HD组-Z组)栽培条件下的差异代谢物

Table 5 Fold changes of different metabolites under barren slope land and mixed wood forest conditions

差异代谢物	P	VIP 值	变化趋势	lgFC
N-乙酰-β-D-甘露糖胺	0.018 2	1.62	↑	0.64
苯甲酸	0.036 5	1.18	↓	-0.94
麦芽糖	0.005 6	2.06	↑	0.61
苏糖醇	0.006 8	1.93	↑	1.95
胸苷	0.001 3	2.13	↑	0.91
甘氨酸	0.022 7	1.80	↓	-1.01
槐糖	0.005 3	2.05	↑	1.35
环己烯四醇β环氧化物	0.001 5	1.96	↑	0.66
尿嘧啶	0.014 4	1.24	↓	-1.66
缬氨酸	0.047 2	1.99	↓	-1.88
异麦芽糖	0.024 3	1.38	↑	1.59
脱氢抗坏血酸	0.002 1	1.15	↑	1.35
3-羟基棕榈酸	0.004 0	2.17	↓	-6.25
2'-脱氧胞苷 5'-三磷酸脱脂产物	0.034 4	1.54	↑	1.16
Z-11-二十碳烯酸	0.013 1	1.81	↑	2.53
尿素	0.004 0	1.90	↓	-2.11
D-赤酮酸内酯	0.047 0	1.02	↑	0.80
嘌呤核糖苷	0.042 8	1.87	↑	14.34
2-氨基十八烷-1,3-二醇	0.034 7	1.83	↑	16.98
丙氨酸	0.000 4	2.42	↓	-1.36
N-乙酰-D-半乳糖胺	0.004 8	1.81	↑	0.68
β-丙氨酸	0.000 9	2.34	↓	-2.04
瓜氨酸	0.015 4	1.81	↓	-0.22
橙皮素	0.024 4	2.25	↑	14.51
N-乙基甘氨酸	0.000 8	2.34	↓	-2.13
4-乙酰氨基丁酸	0.010 5	2.03	↓	-1.52
β-羟基肉豆蔻酸	0.045 4	1.53	↑	0.39
D-香芹酮	0.000 4	2.34	↓	-1.96
2-羟基莠去津	0.001 5	2.13	↓	-0.33
鸟嘌呤	0.030 8	1.84	↓	-0.23
柚皮素	0.001 7	2.29	↑	3.66
(+)-二氢香芹醇	0.029 3	1.91	↓	-2.66
2-酮己酸	0.026 4	1.92	↑	14.42
顺式-1,2-二氢-1,2-萘二酚	0.035 5	1.68	↓	-0.17
双缩脲	0.004 5	2.16	↓	-0.24

1,3-二醇呈显著负相关;土壤电导率与3-羟基正缬氨酸,环己烯四醇β环氧化物,甲基-β-D-吡喃半乳糖苷,十五烷酸,2'-脱氧胞苷 5'-三磷酸脱脂产物,N-乙酰-β-D-甘露糖胺,核糖,肌醇呈显著正相关;速效钾含量与麦芽糖、环己烯四醇β环氧化物,N-乙酰-β-D-甘露糖胺呈显著负相关;有效磷含量与环己

烯四醇β环氧化物,苏糖醇,十五烷酸,2'-脱氧胞苷 5'-三磷酸脱脂产物呈显著负相关;全氮含量与环己烯四醇β环氧化物,琥珀酸半醛,2'-脱氧胞苷 5'-三磷酸脱脂产物,N-乙酰-β-D-甘露糖胺,肌醇,葡萄糖庚酸,2-氨基十八烷-1,3-二醇,肉豆蔻酸呈显著正相关;碱解氮含量与胸苷,环己烯四醇β环氧化物,槐

表 6 天麻荒坡地与松林(HD组-S组)栽培条件下的差异代谢物  
Table 6 Fold changes of different metabolites under barren slope land and pine forest conditions

差异代谢物	P	VIP 值	变化趋势	lg FC
山萘酸	0.012 2	2.09	↓	-0.65
肌醇	0.025 1	1.81	↓	-0.54
肉豆蔻酸	0.001 7	2.24	↓	-0.40
硬脂酸	0.028 3	1.77	↓	-0.49
棕榈酸	0.022 3	1.80	↓	-0.34
丙氨酸	0.039 5	1.13	↓	-1.48
苯甲酸	0.019 3	1.37	↓	-1.00
胸苷	0.024 2	1.78	↑	0.33
琥珀酸	0.011 9	2.07	↓	-0.67
甘氨酸	0.010 4	2.07	↓	-0.91
癸酸	0.037 8	1.67	↓	-0.17
尿嘧啶	0.020 6	1.24	↓	-1.65
甲基-β-D-吡喃半乳糖苷	0.037 6	1.76	↓	-0.52
3-羟基棕榈酸	0.024 9	1.54	↓	-6.67
β-丙氨酸	0.018 5	2.29	↓	-2.05
N-乙酰甘氨酸	0.015 5	2.29	↓	-2.07
α-酮基异己酸	0.024 1	1.45	↓	-2.25
熊果苷	0.035 5	1.98	↓	-4.11
D-香芹酮	0.030 0	2.02	↓	-1.74
4',7-二羟基黄酮	0.010 0	1.56	↓	-2.33
对羟基苯乙醇	0.021 8	1.60	↓	-1.30
2-酮己酸	0.026 4	2.06	↑	14.45
亚精胺	0.041 5	1.78	↓	-0.23
2-氧丁酸	0.006 7	1.91	↓	-3.12

糖, 2'-脱氧胞苷 5'-三磷酸脱脂产物, N-乙酰-β-D-甘露糖胺呈显著正相关; 土壤有机质含量与山萘酸, 丙氨酸, 琥珀酸, 熊果苷, 4', 7-二羟基黄酮呈显著正相关。

### 3.4.3 土壤微生物量和土壤代谢物相关性分析

土壤真菌数量与丙氨酸, 熊果苷, 4', 7-二羟基黄酮, 3-羟基棕榈酸呈显著负相关; 细菌数量与 N-乙酰基-D-氨基葡萄糖, 2'-脱氧胞苷 5'-三磷酸脱脂产物, 环己烯四醇 β 环氧化物呈显著负相关; 放线菌数量与熊果苷, 4', 7-二羟基黄酮, 3-羟基棕榈酸, 琥珀酸呈显著负相关; 微生物总量与 N-乙酰基-D-氨基葡萄糖, 肌醇, 2'-脱氧胞苷 5'-三磷酸脱脂产物, 环己烯四醇 β 环氧化物呈显著负相关; B/F 与 D-香芹酮, 丙氨酸, N-乙酰基甘氨酸, β-丙氨酸, 3-羟基棕榈酸呈显著正相关, 见表 9。

## 4 讨论

天麻的生活史包括: 天麻从种子→原球茎→米麻→白麻→箭麻→种子的整个生长过程<sup>[26]</sup>。在这个过程中, 天麻需要与萌发菌、蜜环菌共生, 这两种菌是进行林下仿野生种植天麻所必不可少的材料, 否则无法成麻。因此, 天麻、萌发菌、蜜环菌及土壤组成了密不可分的微生态环境, 其中土壤是天麻赖以生存的基质, 天麻的生长发育不仅需要土壤不断供给水分和养料<sup>[27-28]</sup>, 而且还需要土壤微生物循环活动, 天麻不仅能利用蜜环菌吸收树枝营养外, 还可以从土壤中间接获取一部分营养物质<sup>[29]</sup>, 因此土壤特征与微生物特征是天麻生长发育的重要生态条件。郑亚玉等<sup>[30]</sup>研究认为野生和栽培天麻生长地土壤细菌/真菌构成状况、有机质含量和 pH 很可能是影响天麻品质的重要生态因子。对天麻产区生态环境的分析结果也表明, 土壤环境是影响天麻生长及品质的重要因素<sup>[31]</sup>。从微生态学角度看, 天麻、蜜环菌、土壤之间有着相辅相成的生态循环关系。在同一生境条件下, 因不同栽培环境下土壤理化成分不同, 经蜜环菌侵入、降解、吸收、营养运输等生物过程后, 使得天麻种植塘内土壤矿物质、有机物、微生物、代谢物等含量和类型发生改变, 产生叠加效应, 最终影响天麻的产量和品质<sup>[11]</sup>。

本文研究对比分析了 3 种栽培环境的天麻生长地土壤理化性质, 发现杂木林下土壤含水率、速效钾、有效磷最高, 这可能是因为杂木林属阔叶林, 遮阴效果好, 土壤水分不易流失, 且树叶凋落腐烂, 提供了更多营养; 松树林下 pH 及速效钾、有效磷最低, 这与松树为常绿针叶类植物, 松针较少凋落且凋落后由于松针化学成分较为特殊, 而引起土壤酸化<sup>[32]</sup>。进一步研究表明, 3 种栽培环境的天麻生长地土壤微生物主要以细菌为主, 依次是放线菌和真菌。其中, 杂木林下细菌数量、微生物总量最多, 这可能是杂木林树叶淋溶物渗透进入土壤中的物质或者树根分泌物有利于土壤中细菌的生长, 天麻生长地土壤微生物结构较好, 有较为稳定的微生物群落结构, 且细菌促进塘内有机质分解, 有利于土壤肥力改善<sup>[33]</sup>; 松林下 B/F 最大, 真菌、细菌、放线菌、微生物总量最少, 这可能是因为松林挥发物和淋溶物有关, 抑制病原真菌及细菌的生长, 故真菌、细菌、放线菌、微生物数量减少, 对真菌作用更明显, 推测这种效应与土壤代谢物有关。进一步对 3 种栽培环境的天麻生长地土壤代谢物分析表明, 松林与杂木林相比, 18 种代谢物差异显著, 其中有

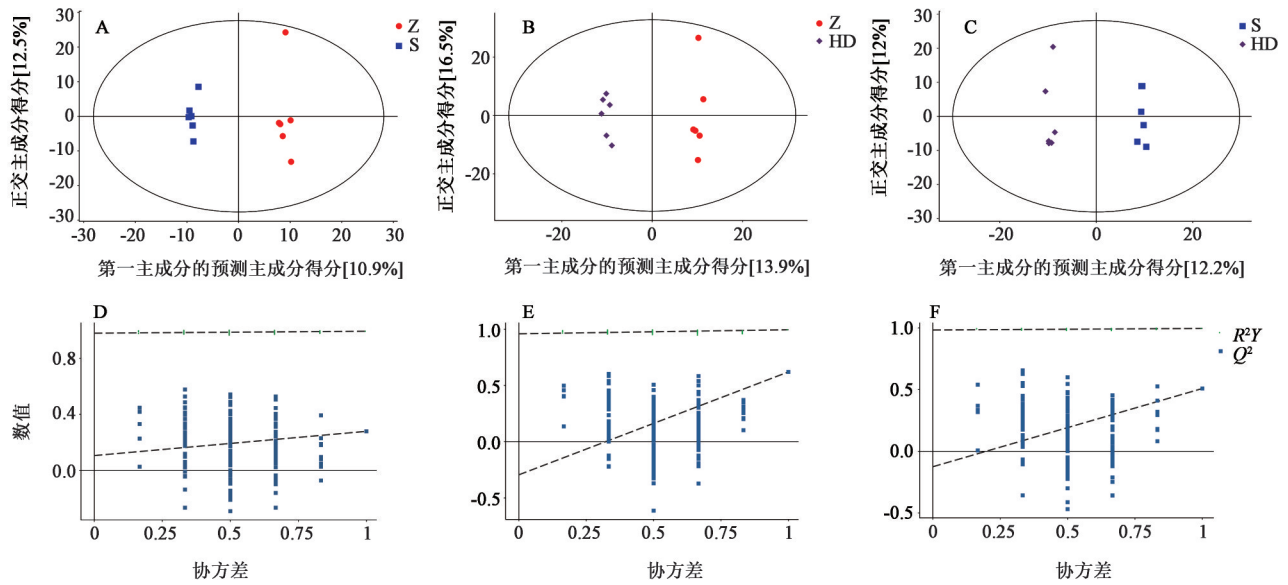


图2 不同组间 OPLS-DA 模型得分散点图(A~C)及置换检验

Fig. 2 OPLS-DA model between different groups of the scattered point diagram(A~C) and permutation test results

表7 代谢通路在3个处理组别间的分布情况

Table 7 Distribution of metabolic pathways among three treatment groups

代谢通路名称	S-Z	HD-Z	HD-S
β-丙氨酸代谢		√	√
甘氨酸, 丝氨酸和苏氨酸的代谢		√	√
乙醛酸和二羧酸的代谢		√	√
磷酸肌醇代谢	√		√
泛酸和CoA生物合成		√	√
谷胱甘肽代谢		√	√
嘧啶代谢		√	√
精氨酸和脯氨酸代谢			√
柠檬酸盐循环(TCA循环)	√		√
硫代谢	√		√
磷脂酰肌醇信号系统	√		√
脂肪酸生物合成			√
缬氨酸, 亮氨酸和异亮氨酸的降解			√
精氨酸生物合成		√	
类黄酮生物合成		√	
淀粉和蔗糖代谢		√	
亚油酸代谢	√		

注:√.有该通路。

17种显著上调,1种显著下调,因此杂木林种植天麻更有优势;荒坡地与杂木林相比,35种代谢物差异显著,其中有18种显著上调,17种显著下调,证明2种环境种植天麻效应相当;荒坡地与松林下相比,24种代谢物差异显著,其中有2种显著上调,22种

表8 土壤理化性质和土壤微生物量 Pearson 相关性分析

Table 8 Pearson correlation analysis of soil physical and chemical properties and soil microbial biomass

理化性质	真菌数量	细菌数量	放线菌数量	微生物总量	B/F
含水率	-0.741 2 <sup>1)</sup>	0.204 3	-0.666 9 <sup>1)</sup>	-0.029 6	0.853 2 <sup>1)</sup>
pH	0.183 8	0.889 9 <sup>1)</sup>	0.281 3	0.796 5 <sup>1)</sup>	-0.002 1
电导率值	-0.554 8	-0.937 8 <sup>1)</sup>	-0.633 7 <sup>1)</sup>	-0.937 3 <sup>1)</sup>	0.390 4
速效钾含量	0.309 5	0.765 2 <sup>1)</sup>	0.384 4	0.726 3 <sup>1)</sup>	-0.173 7
有效磷含量	0.368 3	0.968 8 <sup>1)</sup>	0.463 5	0.912 8 <sup>1)</sup>	-0.180 8
全氮含量	-0.536 8	-0.934 7 <sup>1)</sup>	-0.616 5 <sup>1)</sup>	-0.929 8 <sup>1)</sup>	0.374 5
碱解氮含量	-0.156 7	-0.913 2 <sup>1)</sup>	-0.259 7	-0.808 9 <sup>1)</sup>	-0.03 3
有机质含量	-0.975 9 <sup>1)</sup>	-0.642 1 <sup>1)</sup>	-0.991 6 <sup>1)</sup>	-0.803 7 <sup>1)</sup>	0.920 0 <sup>1)</sup>

注:<sup>1)</sup>P<0.05(表9同)。

显著下调,证明松林种植天麻更有优势;KEGG富集分析进一步说明已知差异代谢物参与了多条碳代谢途径,为微生物提供营养物质,提高土壤活力。

综上所述,天麻块茎际微生态受到栽培环境的影响,其中杂木林影响最大,其次是松林,荒坡地影响最小;在不同环境种植天麻后,土壤理化性质、微生物数量及土壤代谢物有显著差异,天麻种植适宜度为杂木林>松林>荒坡。本文首次从土壤代谢角度证明天麻种植以杂木林种植最优,其次是松林,最后是荒坡。通过相关性分析,土壤差异代谢物与部分土壤理化性质和微生物群落数量有关,土壤理化性质与土壤微生物数量是驱动土壤代谢物变化的重要影响因素,再次证明栽培环境调控土

表9 土壤微生物量和土壤代谢产物 Pearson相关性分析

Table 9 Pearson correlation analysis of soil microbial biomass and soil metabolites

代谢物	真菌数量	细菌数量	放线菌数量	微生物总量	B/F
D-香芹酮	-0.508 4	0.205 0	-0.448 4	0.034 5	0.611 8 <sup>1)</sup>
丙氨酸	-0.605 7 <sup>1)</sup>	0.121 1	-0.552 9	-0.063 2	0.695 5 <sup>1)</sup>
N-乙基甘氨酸	-0.575 3	0.117 0	-0.524 3	-0.058 2	0.662 6 <sup>1)</sup>
$\beta$ -丙氨酸	-0.588 1	0.075 5	-0.539 9	-0.096 1	0.667 6 <sup>1)</sup>
熊果苷	-0.620 9 <sup>1)</sup>	-0.429 5	-0.638 3 <sup>1)</sup>	-0.530 2	0.579 7
N-乙酰基-D-氨基葡萄糖	-0.391 9	-0.634 9 <sup>1)</sup>	-0.445 6	-0.639 3 <sup>1)</sup>	0.292 5
4',7-二羟基黄酮	-0.624 3 <sup>1)</sup>	-0.498 0	-0.643 5 <sup>1)</sup>	-0.586 8	0.573 2
肌醇	-0.533 8	-0.545 0	-0.566 3	-0.602 2 <sup>1)</sup>	0.465 7
2'-脱氧胞苷 5'-三磷酸脱脂产物	-0.157 8	-0.668 8 <sup>1)</sup>	-0.218 7	-0.601 0 <sup>1)</sup>	0.017 0
3-羟基棕榈酸	-0.638 7 <sup>1)</sup>	-0.087 9	-0.620 7 <sup>1)</sup>	-0.250 5	0.683 2 <sup>1)</sup>
琥珀酸	-0.587 8	-0.485 7	-0.614 8 <sup>1)</sup>	-0.568 5	0.534 0
环己烯四醇 $\beta$ 环氧化物	-0.091 1	-0.756 5 <sup>1)</sup>	-0.175 3	-0.658 7 <sup>1)</sup>	-0.072 9

壤理化特征和微生物特征,这是天麻林下种植成功的关键因素,也是天麻-土壤-微生物共生系统的重要机制。

[利益冲突] 本文不存在任何利益冲突。

[参考文献]

[1] 封广才,杨静,高杰. 天麻仿野生栽培技术[J]. 农技服务,2020,37(12):80-81,83.

[2] 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,2020.

[3] CHEN P J, SHEEN L Y. Gastrodiae Rhizoma (tiān má): a review of biological activity and antidepressant mechanisms [J]. J Tradit Complement Med, 2011, 1 (1):31-40.

[4] 张琴,张东方,孙成忠,等. 气候特征与药用植物地理分布的数值分析——以四川省为例[J]. 中国现代中药,2018,20(2):145-151.

[5] 王艳红,周涛,江维克,等. 天麻林下仿野生种植的生态模式探讨[J]. 中国现代中药,2018,20(10):1195-1198.

[6] 元琳,侯淑丽. 天麻高产栽培技术[J]. 人参研究,2018,30(1):36-38.

[7] 吴丽伟. 天麻、蜜环菌化感现象及天麻连作障碍原因探讨[D]. 北京:中国协和医科大学,2009.

[8] FLORENT M, MAGUY D, THIERRY P, et al. Independent recruitment of Saprotrophic fungi as Mycorrhizal partners by tropical achlorophyllous orchids[J]. New Phytologist,2009,184(3):668-681.

[9] 杨林,王传华,刘盼盼,等. 天麻蜜环菌选择性共生理研究进展[J]. 农业与技术,2020,40(15):13-16.

[10] 程立君,王磊,吴银梅,等. 高通量测序技术分析光叶珙桐根际土壤微生物多样性[J]. 广东农业科学,2019,46(1):43-49.

[11] 丛微,喻海茫,于晶晶,等. 人参种植对林地土壤细菌群落结构和代谢功能的影响[J]. 生态学报,2021,41(1):162-171.

[12] 卢宝慧,高成林,赵玥,等. 运用高通量测序技术分析人参不同栽培模式根际土壤微生物多样性[J]. 东北林业大学学报,2021,49(3):113-119.

[13] 谭云,申爱荣,吴振明,等. 不同菌材栽培天麻地土壤微生物和理化性状初析[J]. 湖南林业科技,2018,45(5):12-20.

[14] 田维毅,库尔马汉,王文佳,等. 天麻生长地土壤微生物群落的初步分析[J]. 中国微生态学杂志,2009,21(3):220-222.

[15] 徐娇,黄萱,周涛,等. 天麻种植对土壤微生物群落结构的影响分析[J]. 中国实验方剂学杂志,2020,26(19):10-16.

[16] 郭焘,于红博. 土壤含水量测定方法综述[J]. 内蒙古科技与经济,2018(3):66-67.

[17] 陈玉. 电位法测定土壤中pH值[J]. 农村实用技术,2019(10):104.

[18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2007:268-270,389-391.

[19] 涂佳,申爱荣,吴天乐,等. 配方施肥对泡桐林生长及土壤质量的影响[J]. 湖南林业科技,2013,40(1):20-24.

[20] GARCIA A, BARBAS C. Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) -based metabolomics [J]. Methods Mol Biol,2011,708:191-204.

[21] HIROSHI T, YUKI T, MASANORI A, et al. GC/MS based metabolomics: development of a data mining system for metabolite identification by using soft independent modeling of class analogy (SIMCA) [J]. BMC Bioinformatics,2011,12(1).

[22] 田孟华,王家金,张公信,等. 云南昭通天麻不同产区

- 土壤肥力特征与评价[J]. 西南农业学报, 2016, 29(11):2653-2659.
- [23] 刘江,徐先英,张荣娟,等. 不同退化程度人工梭梭林对土壤理化性质与生物学特性的影响[J]. 草业学报, 2017, 26(12):1-12.
- [24] 朱海云,马瑜,柯杨,等. 不同种植年限猕猴桃园土壤微生物功能多样性研究[J]. 微生物学杂志, 2019, 39(5):64-72.
- [25] 曹志平,李德鹏,韩雪梅. 土壤食物网中的真菌/细菌比率及测定方法[J]. 生态学报, 2011, 31(16):4741-4748.
- [26] 陈顺芳,黄先敏,祁岑. 天麻的生长发育过程及其营养特性[J]. 昭通师范高等专科学校学报, 2011, 33(5):19-21.
- [27] 袁崇文. 中国天麻[M]. 贵阳:贵州科技出版社, 2002:13-19.
- [28] 王睿琪,陈红芝,冯纪南,等. 天麻生态栽培中的品种选育研究[J]. 农业与技术, 2016, 36(22):25-27.
- [29] 何海艳,王玉川,丁培超,等. 天麻种植生态气候条件及增产技术[J]. 南方农业, 2018, 12(36):5-7.
- [30] 郑亚玉,王文佳,韩洁,等. 天麻生长地土壤生态因子与天麻素含量相关性的研究[J]. 中华中医药杂志, 2010, 25(4):527-530.
- [31] 余彬情,杨玲,张启鑫,等. 天麻环境习性分析及栽培方法探究[J]. 南方农业, 2020, 14(32):58-59.
- [32] 陆德辉,丁贵杰,陆晓辉,等. 不同密度马尾松人工纯林凋落物及松针养分变化动态[J]. 中南林业科技大学学报, 2015, 35(8):88-93.
- [33] 宋蒙亚,李忠佩,刘明,等. 不同林地凋落物组合对土壤速效养分和微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学杂志, 2014, 33(9):2454-2461.

[责任编辑 顾雪竹]

· 书讯 ·

## 妊高症孕、产妇采用优质护理方案的护理效果及满意度 ——评《实用妇产科护理》

妊高症又称妊娠期高血压疾病,其发病率较高,发病后会致孕、产妇出现不同程度的血压升高、水肿、头痛、恶心及呕吐等症状,若疾病控制不佳,会增加子痫胎儿窘迫及产后出血等不良妊娠结局发生几率,给母、婴的健康造成严重影响。因此,应加强对妊高症孕、产妇的护理干预,及时控制妊高症孕、产妇的血压水平,才能减少该疾病对母、婴健康的影响,最大限度确保母、婴安全。这方面的研究专著也相继问世,其中《实用妇产科护理》是一部兼顾学术性和实用性的医学丛书。妊高症孕、产妇采用优质护理方案的护理效果及满意度,在书中有较详细的介绍。

《实用妇产科护理》一书由韩凤红编,吉林科学技术出版社。本书共十八章,对常见产科及妇科疾病患者的现代护理作了详细介绍,资料翔实、内容丰富,具有较强的科学性、指导性和实用性。全书内容涵盖了妊娠母体解剖和生理功能的变化,产前、产后各类护理,女性生殖系统炎症的护理,生殖内分泌疾病的护理,外阴、阴道手术的护理,妇产科常用诊疗手术的护理,妇产科常用护理技术等。在护理方法中着重介绍了优质护理,具体护理方法:为孕、产妇营造安静、舒适、空气流通、温、湿度适宜及卫生、干净、整洁的住院环境,并适当在病房内播放舒缓音乐,增强孕、产妇的身心舒适度。加强健康教育,为孕、产妇及家属详细讲解疾病发生因素、相关注意事项、用药方法及近期治疗方向,提高孕、产妇和家属对疾病的认知度及治疗信心。加强心理疏导,及时给予孕、产妇语言沟通及鼓励安慰,并告知家属多给予孕、产妇亲情关怀,最大限度缓解其焦虑、抑郁情绪,避免不良情绪影响胎儿。加强日常监护力度,密切监测孕、产妇生命体征变化及胎儿的胎心、胎动变化,及时做好应急准备,确保孕、产妇发现不良现象时能够快速得到有效处理;为孕、产妇制定科学、合理的饮食方案,饮食中要多添加营养物质及蛋白质;告知患者相关注意事项,并确保充足的睡眠,通过良好的饮食及生活习惯提高孕、产妇机体免疫能力。妊高症是临床妇产科一种高发疾病,该病的发病因素尚未明确,临床认为,其发生主要与滋养细胞侵袭异常、炎症免疫过度激活、遗传因素、多胎妊娠及高龄产妇等有着密切关联,其危险性较高,加之孕、产妇对妊高症相关知识掌握不足,从而导致患者会出现不同程度的焦虑及恐慌等不良情绪,严重影响了患者的依从性,极易导致母、婴不良妊娠结局发生。由此可见,加强对妊高症孕、产妇的护理干预,对确保母、婴安全尤为重要,对妊高症孕、产妇采取优质护理干预,取得较好的护理效果。优质护理干预主要是加强环境护理,提高患者的身心舒适度;加强健康教育,纠正孕、产妇对孕高症疾病的错误认知,提高自我管理能力和自我管理能力。并通过针对性的心理疏导,使孕、产妇的不良心理状态得到改善,从而使其拥有良好心态,积极配合护理治疗。加强监护力度,使孕、产妇出现不良现象时能够得到有效处理,使其血压水平得到良好控制,确保孕、产妇的疾病控制效果,最终减少母、婴不良妊娠结局发生。

《实用妇产科护理》基本涵盖了妇产科常见及多发疾病,特别是对正常分娩、剖宫产、宫外孕、子宫肌瘤、妊高症、产后出血、子宫内黏膜等方面进行系统研究,书中内容注重临床实用性,尤其适用于临床一线护士、基层专科医生阅读。

(作者崔改英,董丽菲,宁文杰,石家庄市第四医院,石家庄 050000)