

6种牧草对广东南雄红壤理化性状的影响*

邹静远¹ 崔育² 曾宪煌² 张斌² 高祖坚¹
陈平¹ 周胜¹ 张晖¹

(1. 仲恺农业工程学院, 广东 广州 510225; 2. 广东粤雄林业投资有限责任公司, 广东 韶关 512400)

摘要 为检测牧草对粤北南雄红壤地种植的耐受性, 以山毛豆 *Tephrosia candida*、木豆 *Cajanus cajan*、象草 *Pennisetum purpureum*、菊苣 *Cichorium intybus*、糖蜜草 *Melinis minutiflora* 和晚熟狼尾草 *Pennisetum alopecuroides* 6种牧草为试验材料, 在广东南雄红壤地试验种植, 测定种植一年后土壤的容重、孔隙度、pH、有机质、电导率等土壤指标, 分析比较不同牧草对土壤结构变化影响的差异性。结果表明: (1) 种植牧草后, 土壤的pH值得到不同程度提升, 其中菊苣使土壤pH值提升了0.54, 电导率较对照组增加了30.1 $\mu\text{s}/\text{cm}$; (2) 木豆对土壤容重影响最大, 降幅达16.3%, 而山毛豆和象草更有利于土壤有机质富集; (3) 山毛豆、木豆、菊苣和晚熟狼尾草均有效提高了土壤总孔隙度, 并且使得非毛管孔隙度占总孔隙度的比例由种植前的25.96%提升至30.17%~43.39%; (4) 6种牧草与容重和总孔隙度分别呈显著正相关和极显著负相关, 说明土壤结构变化对牧草有影响, 同时不同牧草对土壤结构的影响存在差异性。

关键词 牧草; 红壤; 南雄; 种植

中图分类号: S714 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2024) 01-0091-08

Comparison of Soil Physicochemical Properties of 6 Forage Species in Nanxiong Red Soil of Guangdong Province

ZOU Jingyuan¹ CUI Yu² ZENG Xianhuang² ZHANG Bin²
GAO Zujian¹ CHEN Ping¹ ZHOU Sheng¹ ZHANG Hui¹

(1. Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225, China;

2. Guangdong Yuexiong Forestry Investment Co. LTD, Shaoguan, Guangdong 512400, China)

Abstract In order to assess the tolerance of forage in the red soil of Nanxiong, northern Guangdong, the experiment used six forage: They are *Tephrosia candida*, *Cajanus cajan*, *Pennisetum purpureum*, *Cichorium intybus*, *Melinis minutiflora* and *Pennisetum alopecuroides* which were experimented and planted in the red soil of Nanxiong, Guangdong. By observing the growth of these forage plants in red soil and measuring soil properties such as bulk density, porosity, pH, organic matter and conductivity one year later, an analysis of variance was conducted to compare the differential effects of different forages on soil quality. The results show that (1) after planting the forage, the pH value of the soil was improved to varying degrees. Notably, *C. intybus* in-

* 基金项目: 广东省普通高校优稀特色经济林果工程技术研究中心 (2022GCZX002), 广东省土地复垦植被恢复工程技术研究中心 (粤科函政字 [2013] 1589号); 广东省技术服务项目 (2022440111000724)。

第一作者: 邹静远 (2002—), 男, 在读本科, 研究方向为草业科学, E-mail: 913592670@qq.com。

通信作者: 张晖 (1983—), 男, 助理研究员, 主要从事生态修复与草资源利用研究, E-mail: zhanghui@zhku.edu.cn。

creased the soil pH value by 0.54, resulting in an increase in conductivity by 30.1 $\mu\text{s}/\text{cm}$ compared to the control group; (2) the maximum reduction in soil bulk density was achieved by *C. cajan*, with a decrease of 16.3%, while *T. candida* and *P. purpureum* were more conducive to the enrichment of soil organic matter; (3) *T. candida*, *C. cajan*, *C. intybus* and *P. alopecuroides* all effectively enhanced the total soil porosity and the proportion of non-capillary porosity in total porosity from 25.96% to 30.17%–43.39%; (4) forage varieties showed a significant positive correlation with bulk density and a highly significant negative correlation with total porosity, indicating that soil structure changes have an impact on forage and different forages have differential effects on soil structure.

Key words forage; red soil; Nanxiong; plantation

粮食安全是国家安全的根本保障,是国计民生的“压舱石”^[1]。2015年,习近平总书记首次提出要“树立大农业、大食物观”。2022年总书记再次强调:“要树立大食物观,从更好满足人民美好生活需要出发,掌握人民群众食物结构变化趋势”^[2]。“大食物观”已从一个“更好满足人民美好生活需要”的创新观念,转化为全国三农工作的重要部署和相关领域干部职工的实际行动^[3]。草在农业生产中直接或间接地为人类提供食物,体现在人类直接采摘野草,或间接地狩猎食草野生动物。目前,我国牧草产业与畜牧业发达国家相比,仍有一定差距。在畜牧业生产发达国家中,牧草属于作物生产的重要组成部分,在其农业生产中占据重要地位。另一方面,我国居民膳食结构持续升级,优质动物蛋白需求增大,牧草需求刚性增加。在有限的土地资源如何生产更多的牧草蛋白资源已成为行业面临的重大问题,除了要继续加强牧草种质资源创新外,还要向森林要食物^[4]。

2021年公布的第三次全国国土调查数据显示,我国林地面积约2.84亿 hm^2 。研究表明林木树冠对草地具有屏障作用,在林地混交豆科牧草有助于林地固氮系统的建立^[5],其固氮作用可以为土壤增加肥力^[6]。进行林下牧草种植后可以有效降低夏季高温时的土壤温度和降低昼夜温差幅度,这有利于减少地表水分的无效蒸发、改善土壤水分状况和提高林草系统的水分利用效率^[7]。同时,通过在林下、山地种植牧草使“向森林要食物”成为解决问题的可行观念。过去,通过茶园或果园套种豆科牧草^[8]、禾本科牧草^[9]来达成目的,这样做一方面是有利于减少水土流失和地力衰退^[10–13],另一方面则可提高产品品质^[14–15]。不同林地的立地条件差异性大,牧草除了受气候环境因子影响外,土壤的结构和理化特性均对其生长

产生和品质产生影响。广东韶关南雄地区属南亚热带湿润型气候大区,具有潮湿、温暖、多雨、雨季和旱季明显等特点,在粤北红层地貌区存在荒漠化现象中,以南雄红砂岭最为典型^[16]。本试验通过在南雄红壤地^[17–18]开展牧草种植,评价牧草对红壤地物理性状产生的影响,为更好在该地区推广牧草生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

南雄市珠玑镇地处广东省东北部,位于大庾岭南麓,介于东经 $113^{\circ}55'30''\sim 114^{\circ}44'38''$,北纬 $24^{\circ}56'59''\sim 25^{\circ}25'20''$ 之间。境内四周群山环抱,中部丘陵平原,称南雄红层盆地。成土母岩属紫色砂页岩,土壤的pH为4.3~4.5之间,土壤容重为 $1.55\sim 1.64\text{ g}/\text{cm}^3$,土壤有机质平均为 $20.01\text{ g}/\text{kg}$ ^[17–19],属于红壤土。

1.2 材料

本试验采用的牧草有象草 *Pennisetum purpureum*、菊苣 *Cichorium intybus*、糖蜜草 *Melinis minutiflora*、山毛豆 *Tephrosia candida*、木豆 *Cajanus cajan* 和晚熟狼尾草 *Pennisetum alopecuroides*, 种子购于郑州开元草业科技有限公司。

1.3 牧草种植试验

本试验于2022年3月20日在广东韶关南雄珠玑镇开展,试验地周边原有植被为马尾松,经当地林业公司承包后马尾松林已被砍伐,现有植被为零星的杂草。试验地属红壤土类(图1),将试验用的6种牧草种子按一定的播种密度(表1)于经修整过的 $3\text{ m}\times 3\text{ m}$ 样地进行撒播,以试验地旁边未进行牧草种植的地块作为对照,试验周期为一年(即至2023年3月20日),每个种3个重复。



图1 种植试验现场
Fig. 1 Planting test site

表1 牧草种子播种密度

Table 1 Seeding density of forage seeds

种类 Species	播种密度/ (g/m ²) Seeding density
糖蜜草	1
木豆	5
菊苣	1
山毛豆	5
晚熟狼尾草	15
象草	6

1.4 土壤取样方法及理化指标分析

试验结束后,对地块0~20 cm表层土壤进行环刀取样,每个样品3个重复,同时每个地块采用梅花形采样5点法进行散土取样,即样地四角和样地中心,再将土壤混合均匀,每个地块取1 kg土样。采集的土壤样品带回实验室经自然风干后过100目网筛备用,测定土壤的pH值、土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、电导率和有机质^[20]。

1.4.1 土壤pH 使用产自上海仪电科学仪器股份有限公司,品牌为上海雷磁的酸度计和pH为4.00和6.86的标准缓冲试剂。将pH=4.00的邻苯二甲

酸氢钾缓冲剂和pH=6.86的混合磷酸缓冲剂分别倒入100 mL的烧杯中,用蒸馏水冲洗塑料袋内壁,反复冲洗2~3次,保证将全部试剂冲洗到烧杯中,用玻璃棒将烧杯内的试剂搅拌至完全溶解,然后定容到250 mL的容量瓶。将酸度计的电极依次插入两种标准缓冲溶液,将温度设置为25℃,随后根据标准缓冲剂的pH值校准仪器。将土壤样品风干细磨过2 mm筛,蒸馏水和土样比例为2.5:1,称取10.0 g样品于50 mL烧杯中,加入25 mL蒸馏水,用玻璃杯剧烈搅拌1~2 min,静置30 min后用酸度计进行测定。

1.4.2 土壤容重和孔隙度 具体为将环刀刃口垂直向下压入土中,用锤子缓慢且平稳地敲打环刀上端,使环刀完全嵌入地下,直至环刀内部充满土壤。取出充满土壤的环刀,用修土刀平整地削去环刀两端多余的土,用滤纸包住环刀刃口一端,然后两端立即加盖。环刀刃口朝下放入装有水的瓷盘中,吸水12~24 h。之后将浸在水中的环刀取出,迅速擦干环刀外面的水分后立即称饱和重。称完饱和重后将环刀放置在几层滤纸上渗出重力水,测定环刀和湿土的质量,然后将环刀放入到105℃的烘箱中烘至恒重,重复3次,取重量平均值。

土壤容重按下式计算:

$$\rho = \frac{m_4 - m_0}{V}$$

式中 ρ 为土壤容重(g/cm³); m_0 为环刀质量(g); m_4 为环刀和烘干土的质量(g); V 为环刀体积(cm³)。

土壤孔隙度按下式计算:

$$\sigma = \frac{m_3 - m_0}{v}$$

式中 σ 为土壤孔隙度(%); m_0 为环刀质量(g); m_3 为环刀和吸水饱和后的土壤重量; v 为环刀体积(cm³)。

1.4.3 根系生物量测定 将烘干后的土壤环刀内的干土取出并敲碎,把根系挑出称重,计算根系生物量占土壤干重百分比。

1.4.4 土壤电导率 采用电导法测定土壤电导率,主要仪器为电导仪。将风干土壤样品和蒸馏水以1:5的比例混合振荡3 min,取其浸出液作电导测定,通常将不同温度下测得的电导值换算成25℃时的电导值。

温度校正系数计算如下:

$$f_1 = \frac{1}{1+a(t-t_0)}$$

式中 f_1 为温度校正系数; a 为温度校正系数, 通常取 0.02; t_0 为 25 °C; t 为待测液温度 (°C)。

浸出液的电导率按下列算式计算:

$$L = C \cdot f_1 \cdot K$$

式中 L 为 25 °C 时, 浸出液的电导率 ($\mu\text{s}/\text{cm}$); C 为电导仪测得的电导值 ($\mu\text{s}/\text{cm}$); f_1 为温度校正系数; K 为电极常数。

1.4.5 土壤有机质含量 土壤有机质采用重铬酸钾-外加热法测定, 精确称取 0.5 g 风干土壤样品于硬质大试管中, 加入 5 mL 0.800 0 mol/L 重铬酸钾标准溶液, 然后注入 5 mL 浓硫酸, 旋转摇匀。将装有土样的大试管放入已预热 180 °C 的消煮器中, 消煮 5min, 消煮完毕后取出冷却。将试管内的混合物用蒸馏水洗净入 250 mL 锥形瓶, 滴加 3~4 滴邻菲罗啉指示剂, 用 0.2 mL/L 硫酸亚铁滴定, 溶液由橙黄色经蓝绿色到棕红色为终点, 记录硫酸亚铁溶液用量。

做 3 个空白标定, 精确称取 0.5 g 石英砂于硬质大试管中, 其他实验步骤和测定土样一致, 记录硫酸亚铁溶液用量。

土壤有机质含量按下列算式计算:

$$W_{c.o} = \frac{0.8000 \times 5.0}{V_1} \times (V_1 - V_2) \times 0.003 \times 1.1 \times 1000 \times 1.724$$

$$W_{om} = W_{c.o} \times 1.724$$

式中 $W_{c.o}$ 为有机碳含量 (g/kg); W_{om} 为有机质含量 (g/kg); 0.800 0 为重铬酸钾标准溶液浓度 (mol/L); V_1 为空白滴定消耗硫酸亚铁溶液体积 (mL); V_2 为滴定土样消耗硫酸亚铁溶液体积 (mL); 0.003 为碳原子摩尔质量; 1.1 为氧化校正系数; 1.724 为有机碳换算有机质的系数; m_4 为 0.5 g 风干土样质量 (g); K_1 为风干土样换算到烘干的水分换算系数。

1.5 数据分析

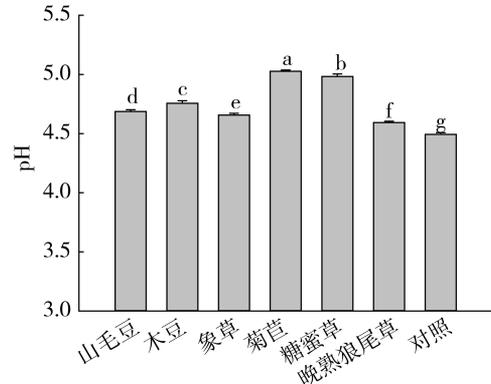
采用 SPSS 23.0 统计分析软件对测定指标进行单因素方差分析和 DUNCAN 检验, 并使用 Sigma-plot 14.0 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH

由图 2 可见, 该地区的红壤接近极强酸性土

壤。对照组土壤 pH 值为 4.49, 经过牧草种植后, 土样的 pH 值均有不同程度的上升, 并且与对照组的 pH 值呈显著性差异, 而 pH 值最高的是菊苣地块, 为 5.03, 其他 5 种牧草土壤 pH 值由高到低分别为糖蜜草 (4.98)、木豆 (4.75)、山毛豆 (4.69)、象草 (4.66) 和晚熟狼尾草 (4.59)。



注: 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

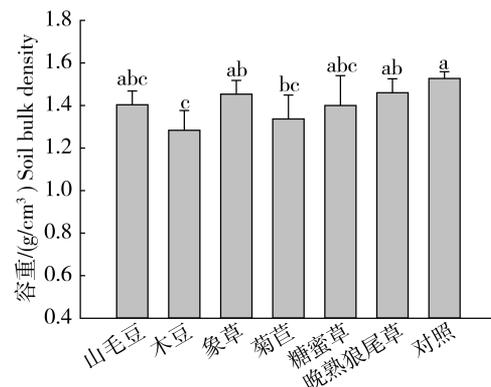
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

图 2 种植牧草后红壤 pH 变化

Fig. 2 Changes of pH in red soil after planting forage

2.2 土壤容重

对照组的土壤容重最大 (图 3), 为 1.53 g/cm^3 。容重下降较大的有木豆和菊苣地块, 土壤容重分别为 1.28 g/cm^3 和 1.34 g/cm^3 , 较对照组降低了 16.3% 和 12.4%。山毛豆和糖蜜草土壤容重相同, 均为 1.40 g/cm^3 , 较对照组降低了 8.5%。象草 (1.45 g/cm^3) 和晚熟狼尾草地块容重 (1.46 g/cm^3) 与对照组差异不显著。



注: 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

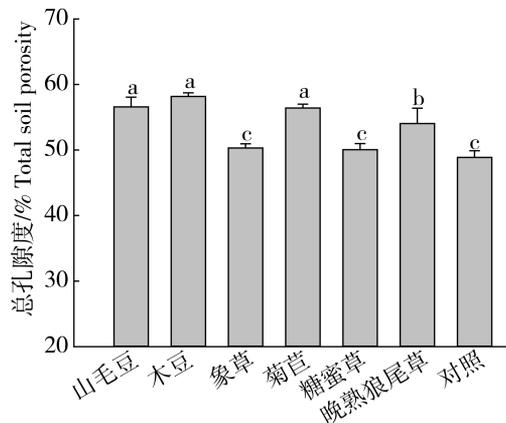
图 3 种植牧草后红壤容重变化

Fig. 3 Changes of red soil bulk density after planting forage

2.3 土壤孔隙度

土壤容重和土壤总孔隙度(图4)通常为反比关系,土壤容重越低,土壤孔隙度就越高,则土壤的紧实度越小,植物根系越容易生长延伸。对照组为裸露无植被区,其土壤总孔隙度为48.87%。通过牧草种植后,地块的总孔隙度均有不同程度提高,其中两种豆科牧草山毛豆(56.57%)和木豆(58.17%),以及菊苣(56.40%)总孔隙度显著大于对照组,分别提高了7.70个百分点、9.30个百分点和7.56个百分点;晚熟狼尾草的土壤总孔隙度为54.03%,比对照组高5.16个百分点。而象草和糖蜜草土壤总孔隙度则与对照组差异不显著。

毛管孔隙度的变化差异不显著(图5),6种牧草种植后土壤的毛管孔隙度范围在30.59%~36.45%。但非毛管孔隙度则有不同程度的提高(图6),除了象草(15.39%)和糖蜜草(15.10%)非毛管孔隙度与对照组差异不显著外,另外4种牧草晚熟狼尾草、菊苣、山毛豆和木豆非毛管孔隙度与对照组差异显著,较对照组提高了87.52%、82.61%、78.63%和73.50%。其中非毛管孔隙度占总孔隙度比例分别为43.39%、40.50%、39.52%和37.34%,而对照组只有25.96%。

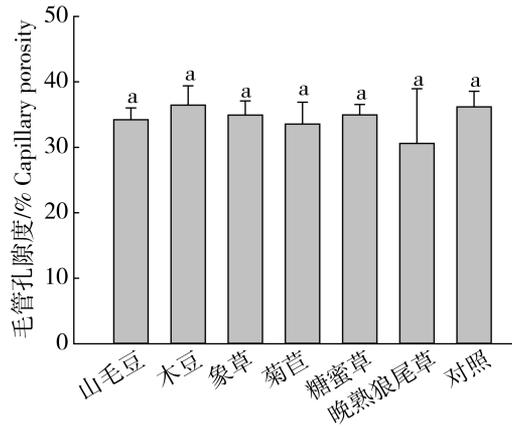


注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

图4 种植牧草后红壤总孔隙度变化
Fig. 4 Changes of red soil total porosity after planting forage

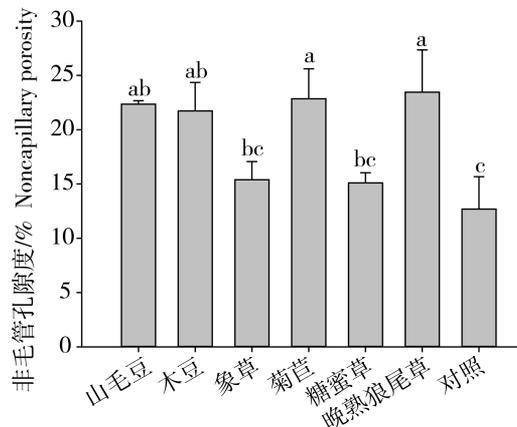
2.4 土壤电导率

试验地红壤为酸性土壤,电导率都较低(图7),经过牧草种植后菊苣地块电导率最高,达到 $107.7 \mu\text{s}/\text{cm}$,与其他6种土样浸出液的电导率差异



注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

图5 种植牧草后红壤毛管孔隙度变化
Fig. 5 Changes of red soil capillary porosity after planting forage



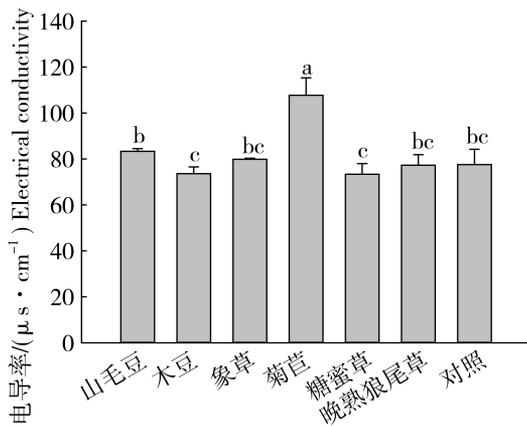
注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P<0.05$).

图6 种植牧草后红壤非毛管孔隙度变化
Fig. 6 Changes of red soil noncapillary porosity after planting forage

显著。而两种豆科植物山毛豆($83.3 \mu\text{s}/\text{cm}$)和木豆($73.6 \mu\text{s}/\text{cm}$)地块间的电导率差异显著。除菊苣外,包括象草($79.8 \mu\text{s}/\text{cm}$)、糖蜜草($73.3 \mu\text{s}/\text{cm}$)、晚熟狼尾草($77.3 \mu\text{s}/\text{cm}$)的另外5种牧草地土壤电导率与对照组($77.6 \mu\text{s}/\text{cm}$)差异不显著。

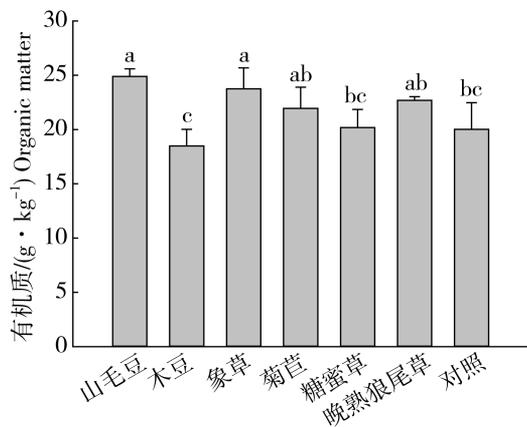
2.5 土壤有机质

山毛豆($24.89 \text{ g}/\text{kg}$)和象草($23.75 \text{ g}/\text{kg}$)的种植地土壤有机质含量提升显著(图8),较对照组高24.4%和18.7%。同是豆科植物,但木豆



注：不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

图7 种植牧草后红壤电导率变化
Fig. 7 Changes of red soil electrical conductivity after planting forage



注：不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

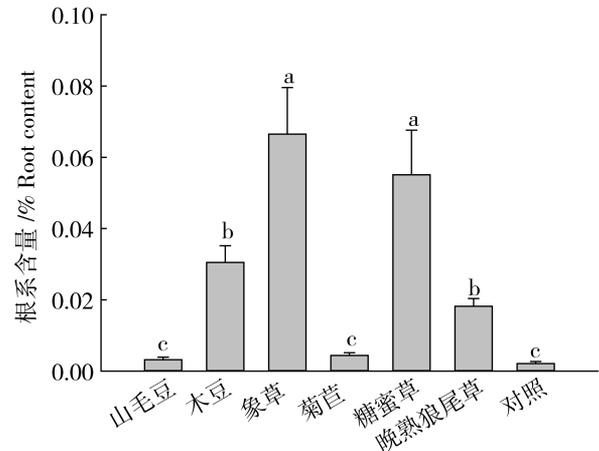
图8 种植牧草后红壤有机质含量变化
Fig. 8 Changes of red soil organic matter content after planting forage

地块有机质含量是6种牧草中最低，显著低于山毛豆土壤有机质含量。菊苣、糖蜜草、晚熟狼尾草较对照土壤有机质含量高，但差异不显著。其中菊苣和晚熟狼尾草的土样有机质含量为21.94 g/kg和22.69 g/kg，较对照高9.6%和13.4%。

2.6 土壤根系生物量

由图9可见，经过一年时间的种植，表层土壤根系含量最高的为象草，其次为糖蜜草，其根系含量分别为0.067%和0.055%，而木豆和晚熟狼尾草则稍低，只有0.031%和0.018%，前4种

牧草均显著高于对照组，而山毛豆和菊苣土壤中根系含量为试验牧草中最低。



注：不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

图9 种植牧草后红壤根系生物量变化
Fig. 9 Changes of red soil root biomass after planting forage

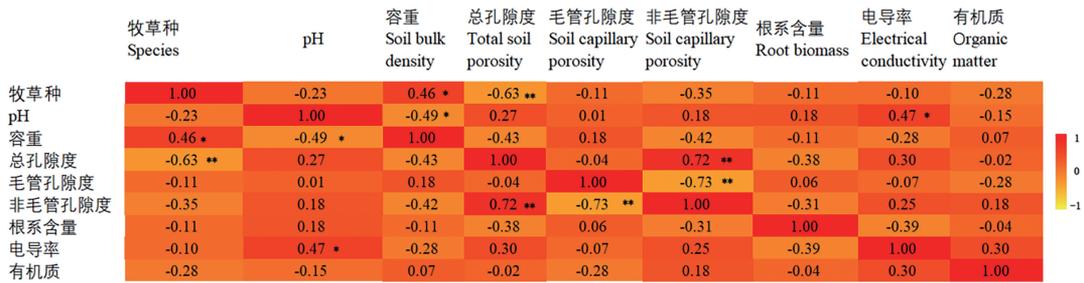
2.7 相关性分析

对检测的指标进行相关性分析(图10)，由结果可见，牧草种与容重和总孔隙度相关性较大，分别呈显著正相关(0.46)和极显著负相关(-0.63)，同时在所测结果中，pH值与容重和电导率也分别呈现显著负相关和显著正相关。总孔隙度由毛管孔隙度和非毛管孔隙度组成，因此其具有直接的相关性。

3 结论与讨论

目前，我国饲草料在不同区域间饲草需求和供给存在明显差异^[21]，预计2035年我国的优质干草需求总量为4815万t，需要优质饲草种植面积约为8026万亩^[22]。南方山地多，气候变化相对缓和，有利于牧草的生产。大力开展林草复合经营是实现中国草业可持续发展的重要措施之一，也是改善生态环境的有效途径之一^[23]。

广东是一个山地丘陵多的省份，而丘陵地大部分为红壤^[24]，粤北韶关地区红壤分布面积最广，其次为黄壤、水稻土和石灰土^[17]。林地红壤类土壤的导水性、持水能力和供水能力一般均较低^[25]，肥力也是相对瘠薄。牧草对于贫瘠土壤往往具有很好的培肥作用^[26-27]，能改善土壤结构^[28-29]、增加有机质^[30-31]、提高生物多样性^[32]等。牧草



注：* 在 0.05 级别相关性显著；** 在 0.01 级别相关性显著。

Note: * is significantly correlated at the 0.05 level; ** The correlation was significant at the 0.01 level.

图 10 相关性分析
Fig. 10 Correlation analysis

新疆毛苕子、白豌豆用作绿肥有助于显著降低盐碱地 pH 值^[33]，本研究中红壤地种植牧草 1 年后，表层土壤的 pH 值均有不同程度的上升，其中菊苣地块 pH 提升 0.54，酸性土壤改良效果明显。其也体现在电导率的变化上，试验地种植菊苣后，土壤的电导率为 107.7 $\mu\text{s}/\text{cm}$ ，显著高于另外 5 种牧草。

除此之外，牧草在生长过程中地上地下部分有机物料的增加，可直接增加土壤有机碳含量，提高表层土壤有机碳的累积，对土壤质量改善具有可持续的经济意义^[34]。种植牧草后，土壤容重普遍下降，由 1.53 g/cm^3 降至 1.28 g/cm^3 （木豆）和 1.34 g/cm^3 （菊苣）。虽然只是种植了一年，象草根含量显著高于其他 6 种牧草，对促进植物根系延展有良好作用。山毛豆和象草提升土壤有机质效果显著高于其它牧草，有机质比对照组高 24.4% 和 18.7%，山毛豆和象草可以显著提高土壤有机质含量。山毛豆、木豆、菊苣和晚熟狼尾草均有效提高了土壤总孔隙度，并且使得非毛管孔隙度由原来的 25.96% 提升至 30.17%~43.39%。

针对油茶林^[32] 和桉树林^[35-37] 等人工林已开展了多种生草研究，并筛选出适合海南人工桉树林间作的笔花豆 *Stylosanthes guianensis* 热研 10 号和热研 2 号等产量高、质量好、耐阴性强的林下牧草。但粤北地区冬天温度低，不适合耐热性牧草。本种植试验中糖蜜草、菊苣、山毛豆和象草在经历了跨年种植后，总体生长良好，适应粤北红壤环境。随着大食物观理念的深入，牧草在贫瘠山地或低质林地中的应用价值得到进一步重视。而关于在特殊立地条件下筛选适宜的牧草作为林下种植及其生态效益研究，将有助于植物蛋白质

资源的提升。

参考文献

- [1] 韩家彬,陈子怡,张亚萌,等. 习近平关于大食物观论述的理论渊源、思想内涵与时代价值[J]. 新疆农垦经济, 2023(6):1-11.
- [2] 黎祖交. 关于“大食物观”核心意涵的探讨[J]. 绿色中国, 2023(9):46-52.
- [3] 陈卫. 树立大食物观守护舌尖幸福[J]. 中国食品工业, 2022(9):66-68.
- [4] 金京波,王台,程佑发,等. 我国牧草育种现状与展望[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(6):660-665.
- [5] 刘闯. 巨桉林+草间作模式中牧草产量效应及其生理生态学特征研究[D]. 雅安:四川农业大学, 2008.
- [6] KUMAR, RAKESHYADAV, M. R. ARIF, et al. Multiple agroecosystem services of forage legumes towards agriculture sustainability: An overview[J]. The Indian Journal of Agricultural Sciences, 2020, 90(8):1367-1377.
- [7] 蒋国颜,左锦莉,刘小利. 核桃幼林林下间种牧草对土壤温度及理化性质的影响[J]. 青海大学学报, 2019, 37(3):28-33.
- [8] 李发林,林晓兰,黄炎和,等. 果园种植牧草对果树树体生长及其根系活力的影响[J]. 热带农业科学, 2009, 29(7):20-24.
- [9] 孔艳芹,张荣学. 果园间套牧草新品种:金牧 5 号鸭茅[J]. 四川农业科技, 2003(11):16.
- [10] 李兴莲. 果园套种牧草的作用和意义[J]. 当代畜牧, 2014(29):85-86.
- [11] 靖丹丹. 果园套种不同牧草对土壤微生物多样性的影响[D]. 福州:福建农林大学, 2008.
- [12] 董春华,曾希柏,文石林,等. 湘南红壤丘陵区幼龄果园豆科牧草培肥效果研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(5):1225-1236.
- [13] 谷艳蓉,张志刚,崔同华. 6 种多年生牧草对幼龄果园的影响[J]. 草原与草坪, 2007(5):57-59.
- [14] 林黎. 草种组合套种对山地茶园土壤性状及茶叶品质

- 的影响[J]. 福建茶叶, 2017(11):12-13.
- [15] 余春林, 彭涵, 张增荣, 等. 不同牧草对林下鸡生产性能的影响[J]. 中国家禽, 2021, 43(1):62-66.
- [16] 于波, 符加方, 尤永春, 等. 粤北南雄红砂岭土壤物理性质研究[J]. 南方自然资源, 2022(11):38-43.
- [17] 李婷婷, 刘子宁, 贾磊, 等. 广东韶关地区土壤环境背景值及其影响因素[J]. 地质学刊, 2021, 45(3):254-261.
- [18] 钟继洪, 唐淑英, 谭军. 广东红壤类土壤结构特征及其影响因素[J]. 土壤与环境, 2002(1):61-65.
- [19] 陈金凤, 余世钦, 符加方, 等. 华南红层地貌区不同利用方式土壤质量特征及其影响因素:以南雄盆地为例[J]. 生态环境学报, 2022, 31(5):918-930.
- [20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社, 2000.
- [21] 张英俊, 张玉娟, 潘利, 等. 我国草食家畜饲草料需求与供给现状分析[J]. 中国畜牧杂志, 2014, 50(10):12-16.
- [22] 刘爱民, 贾盼娜, 王立新, 等. 我国饲(草)料供求及未来需求预测和对策研究[J]. 中国工程科学, 2018, 20(5):39-44.
- [23] 梁晓静, 李开祥, 韦晓娟, 等. 八角林下15种禾本科牧草的生长适应性评价[J]. 广西林业科学, 2014, 43(4):351-356.
- [24] 黄美艳, 肖辉林, 彭少麟, 等. 广东红壤坡地的农业利用问题[J]. 生态环境, 2008(3):1314-1316.
- [25] 钟继洪, 谭军, 林兰稳, 等. 广东丘陵红壤土壤水分性能特征比较研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(6):244-246.
- [26] 郑恩, 刘敏, 高铭雨, 等. 不同牧草对延安地区新造地土壤速效磷的影响[J]. 延安大学学报(自然科学版), 2023, 42(4):39-44.
- [27] 吉爽秋, 李旭娇, 尹佳莉, 等. 梨园生草对土壤养分的影响[J]. 现代园艺, 2020, 43(21):12-13.
- [28] 霍雅媛, 曹宏, 柴守玺, 等. 不同豆禾牧草混播对土壤质地及肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(3):238-244.
- [29] 杜艺, 张玉林, 张志浩, 等. 种植7种牧草对北疆盐碱地土壤改良效果的评价[J]. 草业科学, 2023, 40(5):1210-1219.
- [30] 陈逸凡, 云岚, 艾芊, 等. 苜蓿与禾草混播对海流图盐碱地土壤改良效果研究[J]. 草地学报, 2023, 31(10):3203-3211.
- [31] 邹秀凤, 陈恩, 叶菁, 等. 长期不同植草方式下果园土壤有机质组成的变化研究[J]. 福建农业科技, 2022, 53(4):73-76.
- [32] 许彦明, 刘彩霞, 吴慧, 等. 油茶林生草栽培对土壤理化性质、微生物多样性及酶活性的影响[J]. 经济林研究, 2023, 41(1):45-51.
- [33] 张志强, 王晓宇, 王黎梅, 等. 不同牧草品种用作绿肥对盐碱地土壤养分的影响[J]. 畜牧与饲料科学, 2020, 41(3):35-41.
- [34] HUANGR, LAN M, LIU J, et al. Soil aggregate and organic carbon distribution at dry land soil and paddy soil: the role of different straws returning [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2017, 24:27942-27952.
- [35] 林正眉, 侯琼昭, 罗刚跃, 等. 油茶林和桉树林下套种牧草的筛选[J]. 林业与环境科学, 2018, 34(3):85-89.
- [36] 白昌军, 虞道耿, 陈志权, 等. 桉树人工林间作豆科牧草适应性评价[J]. 热带作物学报, 2014, 35(1):33-41.
- [37] 梁英彩, 何春, 陈家贵, 等. 三种牧草在桉树林下间种两年的试验报告[J]. 广西畜牧兽医, 2011, 27(4):195-197.