



## 果园生草改善土壤质量和锥栗农艺性状的效果

余锦林 尤龙辉 徐惠昌 游惠明 程分生 聂森 叶功富 李建民 黄勇来 黄爱珍

### Effects of artificial grass on improving soil quality and agronomic traits of chestnuts in a *Castanea henryi* orchard

YU Jinlin, YOU Longhui, XU Huichang, YOU Huiming, CHENG Fensheng, NIE Sen, YE Gongfu, LI Jianmin, HUANG Yonglai, HUANG Aizhen

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0372>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 禾草内生真菌共生对土壤理化性质及其微生物影响的研究进展

Research developments on the effects of grass endophyte fungi symbiosis on soil physical and chemical properties and microbes  
草业科学. 2019, 36(5): 1292 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0286>

#### 生草对猕猴桃果园土壤酶活性和土壤微生物的影响

Effects of planted grasses on soil enzyme activities and microbial communities in a kiwifruit orchard  
草业科学. 2020, 37(9): 1710 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0043>

#### 青藏高原高寒草甸有毒植物对土壤理化性质和土壤微生物丰度的影响

Effects of toxic plants on soil physicochemical properties and soil microbial abundance in an alpine meadow on the Qinghai-Tibetan Plateau  
草业科学. 2019, 36(12): 3033 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2019-0405>

#### 鄂尔多斯高原灌草群落土壤理化性质变化

Dynamics of soil physicochemical properties in shrub and grass communities in Ordos Plateau  
草业科学. 2018, 12(6): 1352 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0425>

#### 种植密度对高丹草农艺性状及饲用品质的影响

Effect of plant density on agronomic traits and forage quality for Sorghum bicolor × S. sudanense  
草业科学. 2017, 11(8): 1686 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0045>

#### 不同栽培模式下青贮玉米的农艺性状

Effect of different planting patterns on agronomic traits of silage maize  
草业科学. 2018, 12(4): 891 <https://doi.org/10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0335>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2021-0372

余锦林, 尤龙辉, 徐惠昌, 游惠明, 程分生, 聂森, 叶功富, 李建民, 黄勇来, 黄爱珍. 果园生草改善土壤质量和锥栗农艺性状的效果. 草业科学, 2021, 38(12): 2460-2470.

YU J L, YOU L H, XU H C, YOU H M, CHENG F S, NIE S, YE G F, LI J M, HUANG Y L, HUANG A Z. Effects of artificial grass on improving soil quality and agronomic traits of chestnuts in a *Castanea henryi* orchard. Pratacultural Science, 2021, 38(12): 2460-2470.

## 果园生草改善土壤质量和锥栗农艺性状的效果

余锦林<sup>1,2</sup>, 尤龙辉<sup>2,3</sup>, 徐惠昌<sup>1,2</sup>, 游惠明<sup>2</sup>, 程分生<sup>1,2</sup>, 聂森<sup>2</sup>,  
叶功富<sup>2</sup>, 李建民<sup>2</sup>, 黄勇来<sup>4</sup>, 黄爱珍<sup>4</sup>

(1. 福建农林大学林学院, 福建 福州 350002; 2. 福建省林业科学研究院, 福建 福州 350012;  
3. 福州市林业局自然保护地规划发展中心, 福建 福州 350007; 4. 福建省建瓯市林业局, 福建 建瓯 353100)

**摘要:** 本研究以福建典型的红壤丘陵山区锥栗 (*Castanea henryi*) 园为研究对象, 采用随机区组设计, 将供试样地分为面积 0.3~0.5 hm<sup>2</sup> 的若干试验小区, 全园清除自然杂草后, 设置撒播鼠茅草 (*Vulpia myuros*, VM) 籽、光叶紫花苕 (*Vicia villosa*, VV) 籽、黑麦草 (*Lolium perenne*, LP) 籽、紫云英 (*Astragalus sinicus*, AS) 籽和园叶决明 (*Chamaecrista rotundifolia*, CR) 籽 5 种生草栽培, 以及清耕 (CT) 和喷施草甘膦 (GS), 共 7 种不同处理, 分析 7 种处理对锥栗园土壤理化性质、微生物生物量碳氮和栗果农艺性状等指标的影响。结果表明: 1) 各生草栽培处理的土壤总体质量显著高于 CT 和 GS 处理 ( $P < 0.05$ ); 其中, 在 0-10 cm 和 10-20 cm 两个土层, VM 处理的土壤水解性氮含量最高, 分别为 74.14 和 54.87 mg·kg<sup>-1</sup>, 微生物生物量碳 (MBC) 含量也最高, 分别为 1.42 和 1.15 g·kg<sup>-1</sup>; LP 处理的土壤交换性钙含量最高, 分别达到 128 和 93.39 mg·kg<sup>-1</sup>, 镁含量也最高, 分别为 114.95 和 66.28 mg·kg<sup>-1</sup>; VV 处理的微生物生物量氮 (MBN) 含量最高, 分别为 47.68 和 30.89 mg·kg<sup>-1</sup>。(2) 生草栽培显著改善了锥栗果实农艺性状, 相比 CT 和 GS 处理, 各生草栽培处理均不同程度地提高了果实中淀粉、可溶性糖、蛋白质、脂肪及磷钾钙镁营养元素的含量; VM 处理的锥栗果实横纵径分别达到 26.6 和 33.1 mm, 单果质量 13.54 g, 果实个头明显增大, 且 VM 处理的锥栗单位面积产量较 CT 和 GS 处理分别提高了 59.44%、111.25%。(3) Mantel Test 检验和随机森林分析表明, MBN、土壤水解性氮和交换性镁既是影响栗果总体农艺性状的关键因子, 也是影响锥栗产量的最主要因子。综上, 生草栽培可以提高锥栗园土壤质量, 改善锥栗果实农艺性状, 提高锥栗产量, 增加栗农收益; 其中以 VM 处理表现最佳, 可作为我国南方锥栗园地面管理的优先选择。

**关键词:** 锥栗; 生草栽培; 清耕; 草甘膦; 土壤理化性质; 微生物生物量碳氮; 农艺性状

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2021)12-2460-11

### Effects of artificial grass on improving soil quality and agronomic traits of chestnuts in a *Castanea henryi* orchard

YU Jinlin<sup>1,2</sup>, YOU Longhui<sup>2,3</sup>, XU Huichang<sup>1,2</sup>, YOU Huiming<sup>2</sup>, CHENG Fensheng<sup>1,2</sup>, NIE Sen<sup>2</sup>,  
YE Gongfu<sup>2</sup>, LI Jianmin<sup>2</sup>, HUANG Yonglai<sup>4</sup>, HUANG Aizhen<sup>4</sup>

(1. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China; 2. Fujian Academy of Forestry, Fuzhou 350012, Fujian, China; 3. Natural Protected Area Planning and Development Center, Fuzhou Forestry Bureau, Fuzhou 350007, Fujian, China; 4. Jianou Forestry Bureau, Jian'ou 353100, Fujian, China)

收稿日期: 2021-06-20 接受日期: 2021-09-15

基金项目: 福建省林业科研项目“闽北红壤侵蚀区水土保持型锥栗林套种模式优选研究”(闽林科便函(2019)16号); 中央财政林业科技推广示范项目“建瓯红壤侵蚀区生态经济型植被恢复技术推广示范”(闽(2018)TG11号)

第一作者: 余锦林(1994-), 女, 福建古田人, 在读硕士生, 主要从事经济林经营管理。E-mail: lin10927345@163.com

通信作者: 尤龙辉(1987-), 男, 福建永春人, 工程师, 硕士, 主要从事森林生态与水土保持研究。E-mail: m378384996@126.com

**Abstract:** This research evaluated the benefits of green manure for soil quality recovery, compared with those of traditional clear tillage and chemical herbicide application methods, in a *Castanea henryi* orchard in the typical red soil hill region of Fujian. A randomized block design was adopted, with each block having an area of 0.3 ~ 0.5 ha. The experimental site was cleared of natural weeds, trialed with two grass species (*Vulpia myuros*, VM; *Lolium perenne*, LP) and three legume species (*Vicia villosa*, VV; *Astragalus simicus*, AS; *Chamaecrista rotundifolia*, CR) as green manure crops, and treated with glyphosate spraying (GS) and clearing tillage treatments (CT), with three replicates of each. The physical and chemical properties, microbial biomass carbon and nitrogen of soils, and agronomic traits of chestnut in the five green manure and the two control treatments in the *C. henryi* orchard were analyzed. It was found that: 1) Compared with the CT and GS treatments, the soil quality of all grass cultivation treatments was significantly ( $P < 0.05$ ) improved. In 0 – 10 cm and 10 – 20 cm soil layers, the contents of alkali-hydrolyzable nitrogen and microbial biomass carbon (MBC) of the VM treatment were the highest. The contents of alkali-hydrolyzable nitrogen were 74.14 and 54.87 mg·kg<sup>-1</sup>; the contents of microbial biomass carbon (MBC) were 1.42 and 1.15 g·kg<sup>-1</sup>. The contents of exchangeable calcium and magnesium of the LP treatment were the highest. The contents of exchangeable calcium were 128 and 93.39 mg·kg<sup>-1</sup>; the contents of magnesium were 114.95 and 66.28 mg·kg<sup>-1</sup>, respectively. The VV treatment had the highest microbial biomass nitrogen (MBN) content, which were 47.68 and 30.89 mg·kg<sup>-1</sup>, respectively. 2) Compared with that of the CT and GS treatments, the contents of starch, soluble sugar, protein, fat, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium in the fruits of green manure crops were all increased. The transverse and longitudinal diameters of chestnut in the VM treatment were 26.6 mm and 33.1 mm, the weight of a single fruit was 13.54 g, which was significantly higher than that of CT and GS treatments, and the per unit yield of chestnut was higher than that of CT and GS treatments, which were 59.44% and 111.25%, respectively. 3) Mantel test and random forest analysis showed that MBN, soil hydrolyzed nitrogen, and exchangeable magnesium were not only the key factors affecting the agronomic traits of chestnut fruit, but also the most important factors affecting the yield of chestnut. In conclusion, grass cultivation can improve the soil quality of *C. henryi* garden, improve the agronomic characteristics of *C. henryi* fruit, and increase income for chestnut farmers. In this research, the VM treatment had the best performance and could be the best choice for ground management of *C. henryi* orchards in southern China.

**Keywords:** *Castanea henryi*; grass cultivation; clean tillage; glyphosate; soil physical and chemical properties; microbial biomass carbon and nitrogen; agronomic traits

**Corresponding author:** YOU Longhui E-mail: [m378384996@126.com](mailto:m378384996@126.com)

土壤质量是土壤在生态系统中维持环境质量、促进动植物生产的能力, 土壤的生物、化学和物理属性是评价土壤质量的关键<sup>[1]</sup>。其中, 土壤微生物被认为是表征土壤质量变化最敏感、最有潜力的生物指标之一<sup>[2]</sup>, 土壤物理性状对土壤肥力具有深刻的影响, 而土壤养分是植物生长发育所必需的物质基础<sup>[3]</sup>。研究表明, 不同土地利用类型使土壤质量存在较大差异, 李英等<sup>[4]</sup>指出, 受人为干扰的果园, 其土壤湿度、养分含量及微生物生物量均显著低于天然林。长期以来, 我国果园的地面管理方式以清耕和施用化肥、除草剂等高强度集约经营为主, 导致林地生物多样性降低、土壤质量下降等一系列问题<sup>[5]</sup>。

近年来, 生草栽培被证明是果园土壤管理的有效措施, 果园生草法源于欧美与日本, 是采用全园或带状人工生草, 或除去园内部分不适宜的自然杂草,

逐渐达到免耕目的的新型低强度果园地面管理方式<sup>[6]</sup>。生草栽培能改善果园生态微域环境, 提高土壤质量, 促进果树生长, 提高果实品质<sup>[5-7]</sup>。然而, 各草种对不同水热状况、立地条件的适应性不同。研究表明, 橘园种植白三叶 (*Trifolium repens*) 对土壤有机质含量的提高优于黑麦草 (*Lolium perenne*)<sup>[8]</sup>, 而在猕猴桃 (*Actinidia chinensis*) 园表现为黑麦草优于白三叶<sup>[9]</sup>; 种植紫花苜蓿对桃子 (*Amygdalus persica*) 果实品质的提高优于黑麦草<sup>[10]</sup>, 而两者对香梨 (*Pyrus spp.*) 果实品质的改善却恰好相反<sup>[11]</sup>。可见, 因地制宜探究不同草种栽培对果园的影响, 能为果园实施生草栽培提供理论支撑和实践依据。

锥栗 (*Castanea henryi*) 是壳斗科栗属乔木, 原产于福建建瓯, 是我国南方著名的木本粮食树种, 其果实甜香可口且营养丰富, 已成为丘陵山区重要的财

政收入和农民增收的主要来源之一<sup>[12]</sup>。但传统锥栗园亦以清耕和喷施草甘膦除草等高强度集约经营为主, 园区土壤质量降低, 果树早衰减产等问题突出<sup>[13]</sup>。当前, 有关如何应用生草栽培技术改善锥栗园土壤质量, 提升锥栗果实农艺性状的研究成果鲜见报道。

综上所述, 本研究拟提出以下科学问题: 生草栽培是否对锥栗园的土壤质量有积极影响? 若有, 是否会进一步影响锥栗果实产量与品质? 生草栽培影响锥栗园果实产量的机制是什么? 针对以上问题, 本研究以建瓯锥栗园不同生草栽培、清耕及喷施草甘膦处理为研究对象试分析: 不同草种对锥栗园土壤质量的影响是否存在差异; 不同草种对锥栗园果实产量和品质的影响是否存在差异; 生草栽培对锥栗园土壤及果实的影响机制。本研究有利于阐明生草法对南方红壤丘陵山地锥栗园土壤及果树的作用机理, 及其替代传统果园地面管理方式的可行性, 对制定锥栗园生草制度、打造高品质生态锥栗园和推进锥栗产业高质量发展均有重要的现实意义。

## 1 研究区域及研究方法

### 1.1 研究区概况

建瓯市龙村乡位于武夷山脉东南麓, 平均海拔 609 m, 是我国南方典型的丘陵山地, 118°15'33" E, 27°28'57" N, 年均气温 18.3 °C, 年均降水量 1 774 mm, 无霜期 270 d 以上, 昼夜温差较大, 水热条件优越, 属亚热带季风气候。土壤以片麻岩、花岗岩等发育形成的山地红壤为主, pH 5.0~5.2, 适宜锥栗生长。龙村乡的锥栗种质资源丰富, 形成了以‘白露仔’、‘长芒仔’、‘油榛’和‘圆蒂仔’等为主的优良品种。

### 1.2 试验设计与调查方法

2018 年, 在建瓯市龙村乡选取集中连片且立地条件基本一致的试验锥栗园, 采用随机区组设计, 将供试样地分为面积 0.3~0.5 hm<sup>2</sup> 的若干试验小区, 全园清除自然杂草后, 设置撒播鼠茅草 (*Vulpia myuros*, VM) 籽、光叶紫花苕 (*Vicia villosa*, VV)、黑麦草 (*Lolium perenne*, LP) 籽、紫云英 (*Astragalus simicus*, AS) 籽和园叶决明 (*Chamaecrista rotundifolia* CR) 籽 5 种生草栽培, 以及清耕 (CT) 和喷施草甘膦 (GS), 共 7 种不同处理, 每种处理 3 个重复。播种前以带状整地方式平整细地面, 注意不伤锥栗根系, 树干基部周围半径约 30 cm 不覆草。在 2018 年

10 月首次撒播, 播种量 30 kg·hm<sup>-2</sup>, 并覆盖薄膜, 苗长至 5 cm 左右时撤掉薄膜, 第 2 年 4 月再次以前述撒播方式进行补播, 播种量亦为 30 kg·hm<sup>-2</sup>。每年追肥两次, 早春及早秋, 采用复合肥 (NPK 配比 N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = 15 : 15 : 15) 追肥, 追肥量 120 kg·hm<sup>-2</sup>。清耕处理的小区, 每年 4 月和 6 月各人工锄草一次; 在同样的时间, 对喷施草甘膦的小区, 用 10% 草甘膦水剂 1.5 kg, 均匀兑清水 30 kg, 进行茎叶雾喷除草。为保证可比性, CT 和 GS 处理的水肥管理与生草栽培处理保持一致。供试样地基本情况如表 1 所列。

表 1 供试样地基本情况  
Table 1 Basic information of sample site

处理 Treatment	林分密度 Stand density/ (trees·hm <sup>-2</sup> )	平均树高 Stand average height/m	平均胸径 Stand average breast/cm	草被盖度 Grass coverage/%
VM	198.5	7.4	28.4	85
VV	188.2	6.9	25.3	80
LP	233.7	7.7	22.9	85
AS	208.2	6.3	27.1	80
CR	240.8	7.1	30.4	80
CT	225.2	6.7	25.3	10
GS	215.0	7.3	26.8	10

VM, 鼠茅草栽培处理; VV, 光叶紫花苕栽培处理; LP, 黑麦草栽培处理; AS, 紫云英栽培处理; CR, 园叶决明栽培处理; CT, 清耕处理; GS, 喷施草甘膦处理; 下同。

VM, *Vulpia myuros* cultivation treatment; VV, *Vicia villosa* cultivation treatment; LP, *Lolium perenne* cultivation treatment; AS, *Astragalus simicus* cultivation treatment; CR, *Chamaecrista rotundifolia* cultivation treatment; CT, clean tillage treatment; GS, glyphosate spraying treatment; this is applicable for the following tables and figures as well.

### 1.3 土壤理化性质及微生物生物量碳氮测定

在各试验小区分别设置垂直投影为 25 m × 25 m 的调查样地, 样地间隔 25 m 以上, 共计 21 个样地, 样地内的锥栗砧木均为 42 年生的毛榛 (*Corylus mandshurica*), 接穗均为 35 年生的白露仔。2020 年 8 月, 在各样地选取 3 株树体生长健康、树高和胸径基本一致的锥栗平均木, 距树干基部 1 m 处, 分东、西、南、北 4 个方向, 清除表层凋落物, 用土钻自上而下分层采集 0–10 cm 和 10–20 cm 土层土样, 各样地同一土层采样点土壤采用四分法取一部分土壤, 去除根系、石砾等杂质后放入自封袋带回实验室, 风干后先过 2 mm 土壤筛, 再四分法取 10 g 研磨过 0.147 mm 土壤筛备用。在采样点附近用环刀对两个土层取样, 用于测定土壤含水率。依照林业行业标



准, 土壤水解性氮采用碱解扩散法 (LY/T 1229-1999) 测定, 土壤有效磷采用氟化铵-盐酸浸提-流动分析仪法 (LY/T 1233-1999) 测定, 土壤速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法 (LY/T 1236-1999) 测定, 土壤交换性钙和交换性镁采用乙酸铵交换-原子吸收分光光度法 (LY/T 1245-1999) 测定, 土壤 pH 采用电位法测定 (水: 土 = 2.5: 1)。土壤微生物生物量碳 (microbial biomass carbon, MBC) 和微生物生物量氮 (microbial biomass nitrogen, MBN) 采用氯仿薰蒸-硫酸钾浸提法提取后用 TOC-VCPH/CPN Analyzer (Shimadzu, Japan) 测定, 转换系数分别为 0.45 和 0.54<sup>[14]</sup>。

#### 1.4 果实产量、表型性状和养分含量测定

2020 年 10 月, 采用全株采摘计数的方式, 记录用于取土样的锥栗平均木的栗苞总数、空苞数, 从中随机选取 100 个生长健康、无病虫害的栗苞带回实验室, 其中 50 个用于测定表型性状, 包括栗苞鲜重、栗果鲜重、栗仁鲜重、栗果横径、栗果纵径, 栗仁含水率 (GB 5009.3-2016); 另外 50 个栗苞则取出栗仁, 测定其养分含量。其中, 淀粉含量采用酸水解法 (GB 5009.9-2016) 处理, 3,5-二硝基水杨酸法测定<sup>[15]</sup>; 可溶性糖含量采用蒽酮比色法测定<sup>[16]</sup>; 脂肪

含量测定采用索氏抽提法 (GB/T 14772-2008); 蛋白质含量测定采用凯氏定氮法 (GB/T 5009.5-2016); 磷含量测定采用分光光度法 (GB 5009.87-2016); 钾、钙和镁含量测定均采用火焰原子吸收光谱法, 分别参考标准 GB 5009.91-2017、GB 5009.92-2016 和 GB 5009.241-2017。

#### 1.5 数据分析

利用 Excel 2016 进行数据整理; SPSS 20.0 进行 DUNCAN 多重比较; 用 Origin 8.4 进行聚类分析和主成分分析; 用 R Project 4.1.1 的 vegan、Randomforest 程序包分别进行 Mantel Test 检验和随机森林分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理土壤理化性质分析

在 0-10 cm 的土壤中, 水解性氮、有效磷、速效钾含量最高的分别是 VM、VV、AS, 分别达到 74.14、163.49 和 242.37 mg·kg<sup>-1</sup> (表 2)。在 10-20 cm 的土壤中, VM 的水解性氮、有效磷和 pH 均最高, 分别为 54.87 mg·kg<sup>-1</sup>、140.18 mg·kg<sup>-1</sup> 和 5.53; LP 在两个土层中交换性钙、镁含量均最高。总体上, 相较于 CT

表 2 不同处理对锥栗园土壤理化性质的影响

Table 2 Effects of different treatments on soil physical and chemical properties of *Castanea henryi* orchard

土层 Soil layer/cm	处理 Treatment	土壤含水率 SMC/%	土壤水解性氮 SHN/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	土壤有效磷 SAP/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	土壤速效钾 SAK/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	土壤交换性钙 SECa/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	土壤交换性镁 SEMg/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH
0-10	VM	26.40 ± 2.60ab	74.14 ± 2.16a	156.87 ± 28.22a	234.76 ± 6.95ab	116.62 ± 16.82a	105.52 ± 6.29ab	5.93 ± 0.06ab
	VV	24.49 ± 2.71ab	63.49 ± 4.17b	163.49 ± 31.79a	213.66 ± 8.78bc	107.63 ± 8.66ab	100.09 ± 8.26ab	5.95 ± 0.19ab
	LP	27.31 ± 1.52a	61.36 ± 5.66bc	151.31 ± 28.02ab	209.82 ± 18.19cd	128.00 ± 10.05a	114.95 ± 11.62a	5.73 ± 0.13b
	AS	25.82 ± 1.11ab	63.84 ± 5.62b	138.24 ± 8.58ab	242.37 ± 15.04a	119.57 ± 7.19a	105.60 ± 10.78ab	6.17 ± 0.12a
	CR	26.32 ± 2.22ab	66.41 ± 3.75b	148.71 ± 18.04ab	225.13 ± 8.30abc	122.04 ± 18.70a	97.50 ± 13.57ab	5.83 ± 0.13b
	CT	22.12 ± 3.36bc	54.39 ± 3.38c	121.44 ± 22.46ab	190.88 ± 11.85de	91.10 ± 8.40bc	89.95 ± 7.58bc	5.69 ± 0.19b
	GS	19.60 ± 2.48c	47.10 ± 2.73d	108.34 ± 7.26b	176.37 ± 11.24e	76.84 ± 6.84c	76.49 ± 5.61c	5.35 ± 0.21c
10-20	VM	24.08 ± 3.20ab	54.87 ± 3.56a	140.18 ± 17.93a	195.99 ± 11.52ab	87.35 ± 14.79a	57.82 ± 6.36a	5.53 ± 0.35a
	VV	26.13 ± 3.69ab	52.05 ± 3.70ab	138.53 ± 14.21ab	182.27 ± 8.65bc	81.20 ± 16.00ab	54.03 ± 6.37ab	5.52 ± 0.25a
	LP	24.88 ± 3.46ab	48.00 ± 4.96ab	129.44 ± 26.02ab	171.81 ± 4.01c	93.39 ± 5.03a	66.28 ± 9.41a	5.39 ± 0.30ab
	AS	27.78 ± 3.61a	51.73 ± 3.54ab	125.41 ± 13.98ab	210.04 ± 12.67a	85.36 ± 11.22ab	54.18 ± 10.41ab	5.45 ± 0.19ab
	CR	24.30 ± 1.67ab	50.12 ± 5.45ab	112.50 ± 21.65abc	201.12 ± 9.32a	78.92 ± 6.73ab	51.79 ± 5.30ab	5.36 ± 0.14ab
	CT	20.15 ± 2.57bc	45.10 ± 3.19bc	106.16 ± 12.16bc	168.54 ± 11.78c	67.38 ± 3.09bc	41.42 ± 10.00bc	5.08 ± 0.23ab
	GS	18.13 ± 3.81c	38.86 ± 5.02c	90.25 ± 9.96c	147.73 ± 11.04d	58.32 ± 3.42c	35.67 ± 5.08c	5.02 ± 0.24b

同列同一土层不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ); 下同。

Different lowercase letters within the same column and soil layer indicate significant differences among different treatments at the 0.05 level; SAK: soil available potassium; SHN: soil hydrolytic nitrogen; SECa: soil exchangeable calcium; SEMg: soil exchangeable magnesium; SMC: soil moisture content; SAP: soil available phosphorus; this is applicable for the following tables and figures as well.

和 GS, 生草栽培处理的土壤含水率、水解性氮、有效磷、速效钾、交换性钙和镁含量均有提高。聚类分析 (图 1) 亦将 VM、AS 和 CR 归为一类, VV 和 LP 归为一类, 而 CT 和 GS 归为一类。

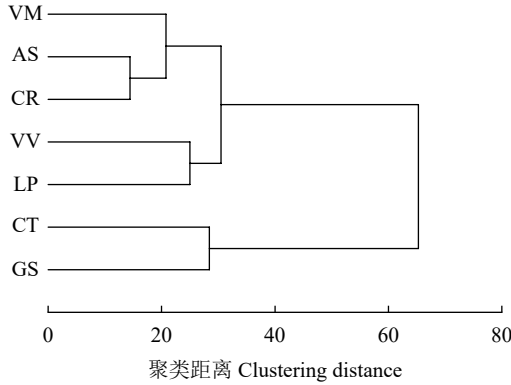


图 1 不同处理土壤理化性质聚类分析

Figure 1 Cluster analysis of soil physical and chemical properties in different treatments

2.2 不同处理微生物生物量碳氮分析

多重比较发现 (图 2), MBN 含量在 0-20 cm 的不同土层中各处理间差异较大, 0-10 cm 土层中 VM 和 VV 显著 ( $P < 0.05$ ) 高于 CT 和 GS, 而 10-20 cm

土层的生草栽培处理均显著高于 CT 和 GS, VV 在两个土层的 MBN 含量均最高, 分别为 47.68 和 30.89  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ; MBC 含量, 仅 10-20 cm 土层 VM 和 AS 处理显著高于 GS, VM 处理在两个土层中均最高, 较 GS 分别提高了 21.37%、47.44%。MBC/MBN 在各处理间均无显著差异 ( $P > 0.05$ )。

2.3 不同处理对锥栗果实农艺性状的影响

VM 和 VV 的单位面积产量均达在  $2000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$  以上, 均是 CT 和 GS 产量的 1.6 倍、2.1 倍和, 产量显著提高 ( $P < 0.05$ ) (表 3)。VM 的单果质量为 13.54 g, 是 CT 和 GS 的 1.36 倍、1.45 倍, 果实个头明显增大; 除出籽率外, CT、GS 各性状与生草栽培处理均存在显著差异, 而生草栽培处理间无显著差异 (表 4)。生草栽培处理的果实磷、钙和镁含量均显著高于 CT 和 GS; 且相较于 CT 和 GS, 各生草栽培处理均不同程度地提高了果实中淀粉、可溶性糖、蛋白质、脂肪及磷钾钙镁营养元素的含量 (表 5)。

2.4 土壤理化性质、微生物生物量碳氮以及锥栗果实农艺性状的关系

为探索对果实农艺性状影响较大的土壤环境因

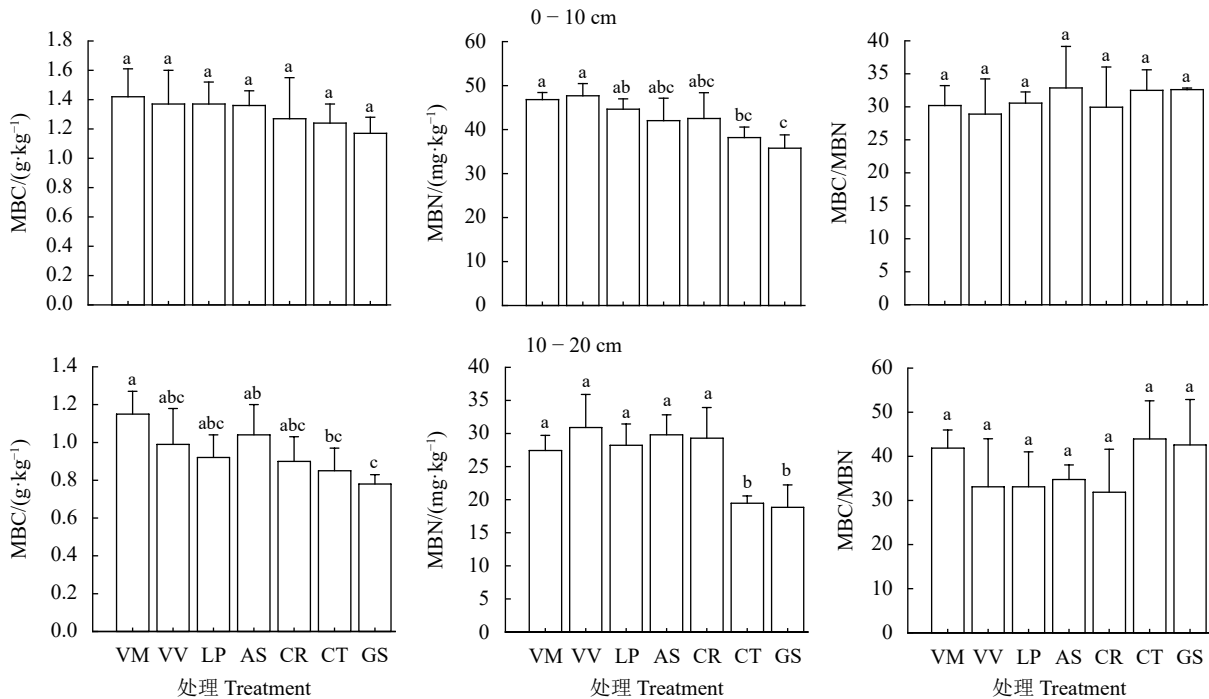


图 2 不同处理微生物生物量碳和微生物生物量氮分析

Figure 2 Analysis of MBC and MBN in different treatments

MBC, 土壤微生物生物量碳; MBN, 微生物生物量氮。

MBC, microbial biomass carbon. MBN, microbial biomass nitrogen.

表 3 不同处理对锥栗果实产量的影响  
Table 3 Effects of different treatments on fruit yield of *Castanea henryi*

处理 Treatment	结果母枝数 Number of parent branches	结果枝数 Number of fruit branches	结果数 Fruit number	空苞率 Empty-bur rate/%	单位面积产量 Per unit yield/(kg·hm <sup>-2</sup> )
VM	134 ± 13.65a	208 ± 22.34a	621 ± 36.59a	6.79 ± 0.39b	2 009 ± 307.16a
VV	121 ± 11.50ab	201 ± 23.71a	661 ± 60.91a	6.69 ± 0.18b	2 012 ± 177.90a
LP	131 ± 13.32a	193 ± 14.53ab	605 ± 36.17a	7.30 ± 0.51b	1 686 ± 211.37ab
AS	115 ± 7.55ab	190 ± 13.05ab	600 ± 26.85a	6.72 ± 0.29b	1 605 ± 265.11abc
CR	120 ± 7.57ab	206 ± 21.00a	588 ± 32.60a	6.88 ± 0.49b	1 537 ± 296.27bc
CT	111 ± 17.01ab	165 ± 15.04bc	497 ± 34.18b	8.82 ± 0.82a	1 260 ± 72.90cd
GS	102 ± 10.54b	151 ± 19.63c	453 ± 38.44b	9.54 ± 0.91a	951 ± 96.74d

表 4 不同处理对锥栗果实表型性状的影响  
Table 4 Effects of different treatments on phenotypic characters of *Castanea henryi* fruit

处理 Treatment	栗苞总重 Hazelnut total weight/g	单果质量 Per fruit weight/g	坚果横径 Nut wide/mm	坚果纵径 Nut long/mm	出籽率 Seed percentage/%	出仁率 Kernel percentage/%	坚果含水率 Nut moisture content/%
VM	33.92 ± 2.01a	13.54 ± 1.65a	26.60 ± 0.40a	33.21 ± 0.53a	39.67 ± 5.30a	88.18 ± 1.33a	48.75 ± 0.86a
VV	31.38 ± 2.51a	12.77 ± 0.78a	26.33 ± 0.55a	32.07 ± 0.86ab	40.63 ± 2.39a	87.19 ± 1.30a	48.37 ± 0.46a
LP	32.03 ± 1.22a	12.69 ± 1.51a	26.53 ± 0.40a	32.69 ± 1.06a	39.46 ± 3.60a	88.49 ± 0.77a	47.53 ± 1.16a
AS	30.66 ± 2.07a	12.45 ± 0.60a	26.23 ± 0.38a	32.04 ± 0.73ab	40.60 ± 3.89a	88.86 ± 0.83a	47.38 ± 0.57a
CR	32.51 ± 2.73a	11.72 ± 0.75ab	26.50 ± 0.46a	30.91 ± 0.58b	36.85 ± 5.06a	87.64 ± 1.86a	46.83 ± 1.57a
CT	26.60 ± 1.23b	9.98 ± 0.09bc	24.97 ± 0.42b	29.54 ± 0.84c	37.40 ± 1.41a	81.89 ± 1.67b	41.94 ± 2.30b
GS	25.33 ± 0.86b	9.37 ± 1.04c	24.53 ± 0.51b	29.42 ± 0.53c	36.89 ± 2.88a	82.52 ± 1.70b	41.79 ± 0.85b

表 5 不同处理对锥栗果实养分含量的影响  
Table 5 Effects of different treatments on nutrient content of *Castanea henryi* fruit

处理 Treatment	淀粉 Starch/%	可溶性糖 Soluble sugar/%	脂肪 Fat/%	蛋白质 Protein/%	磷 Phosphorus/(g·kg <sup>-1</sup> )	钾 Potassium/(g·kg <sup>-1</sup> )	钙 Calcium/(g·kg <sup>-1</sup> )	镁 Magnesium/(g·kg <sup>-1</sup> )
VM	53.10 ± 2.88a	10.91 ± 0.49bcd	2.10 ± 0.56a	8.08 ± 1.32a	1.75 ± 0.17ab	12.18 ± 0.98a	0.74 ± 0.09a	1.38 ± 0.07a
VV	47.74 ± 2.82bc	11.60 ± 1.68abc	1.97 ± 0.25a	9.38 ± 0.71a	1.65 ± 0.22b	11.63 ± 2.44a	0.77 ± 0.06a	1.33 ± 0.13a
LP	46.84 ± 1.48bc	11.18 ± 1.60bcd	1.73 ± 0.64ab	9.79 ± 0.46a	1.89 ± 0.05a	9.59 ± 0.46abc	0.7 ± 0.10a	1.22 ± 0.06a
AS	45.74 ± 4.56bc	13.77 ± 2.56ab	2.23 ± 0.21a	8.23 ± 0.86a	1.70 ± 0.09ab	11.18 ± 1.14a	0.69 ± 0.09a	1.31 ± 0.13a
CR	50.94 ± 1.97ab	14.75 ± 2.78a	1.57 ± 0.32ab	8.62 ± 0.58a	1.80 ± 0.08ab	10.70 ± 1.67ab	0.67 ± 0.07a	1.31 ± 0.10a
CT	45.25 ± 3.68c	8.62 ± 1.32cd	2.10 ± 0.30a	9.09 ± 1.23a	1.27 ± 0.07c	8.29 ± 1.06bc	0.53 ± 0.04b	0.94 ± 0.17b
GS	42.89 ± 1.12c	8.09 ± 0.66d	1.11 ± 0.11b	4.65 ± 1.19b	1.17 ± 0.07c	8.09 ± 0.92c	0.50 ± 0.07b	0.85 ± 0.09b

子, 分别以各环境因子与全部果实农艺性状进行 Mantel Test 检验, 筛选出  $r > 0.4$ ,  $P < 0.001$  的 9 项检验结果 (图 3)。在 0–10 cm 土层中, 基于果实农艺性状的距离矩阵和基于 MBN、SHN 两个因子的距离矩阵之间的相关性最强,  $r$  值分别为 0.605 3 和 0.536 0; 在 10–20 cm 土层中, 基于果实农艺性状的距离矩阵和基于 MBN、SEMg 两个因子的距离矩阵之间的相关性最强,  $r$  值分别为 0.455 6 和 0.442 4。

主成分分析发现, 锥栗农艺性状各指标存在共

线性关系, 对指标变量进行降维后, 结合实际生产需要, 筛选出单位面积产量作为关键分析指标, 利用随机森林分析土壤环境因子对单位面积产量的影响。结果表明 (图 4), 0–10 cm 和 10–20 cm 土层中土壤环境因子对单位面积产量的总体解释率为分别 58.57% 和 48.60%, 随机森林模型拟合度较高。0–10 cm 土层中, 影响单位面积产量的主要土壤因子是 MBN (15.39%,  $P < 0.001$ )、SHN (10.92%,  $P < 0.05$ ) 和 SEMg (7.99%,  $P < 0.05$ ), 10–20 cm 土层中, 影响

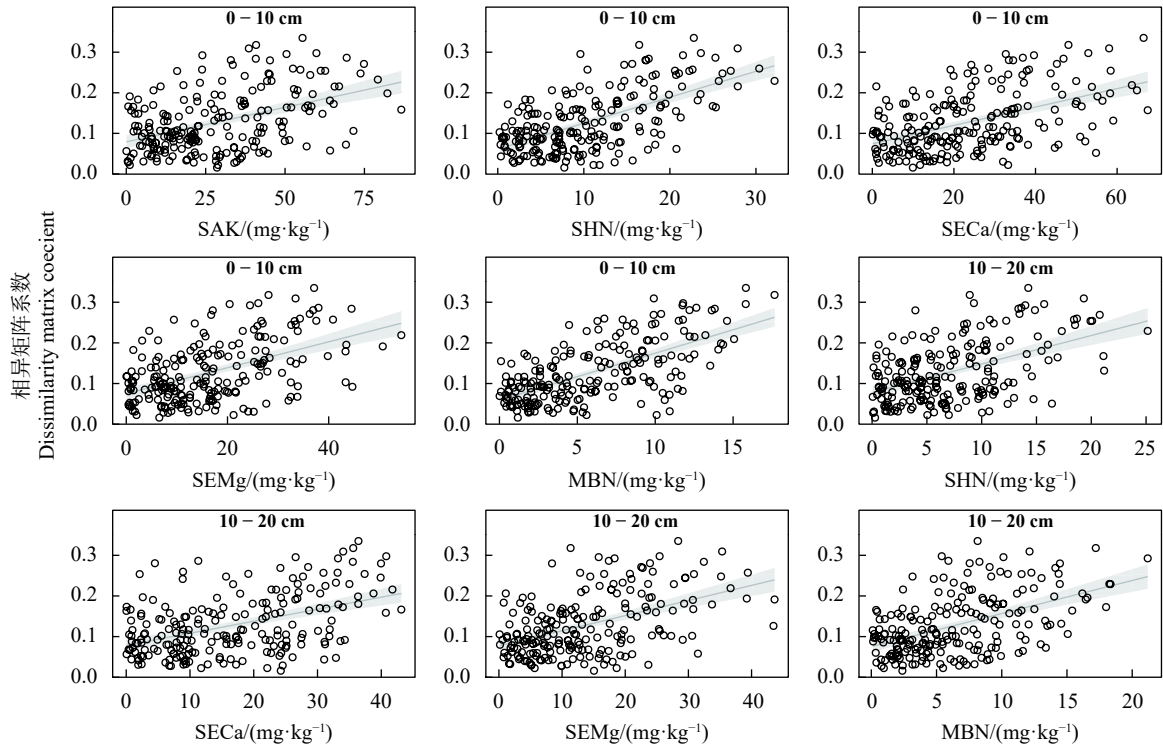


图3 土壤理化性质与微生物生物量碳氮对锥栗果实农艺性状的影响

Figure 3 Effects of soil physicochemical properties and MBC & MBN in agronomic traits of *Castanea henryi* fruit

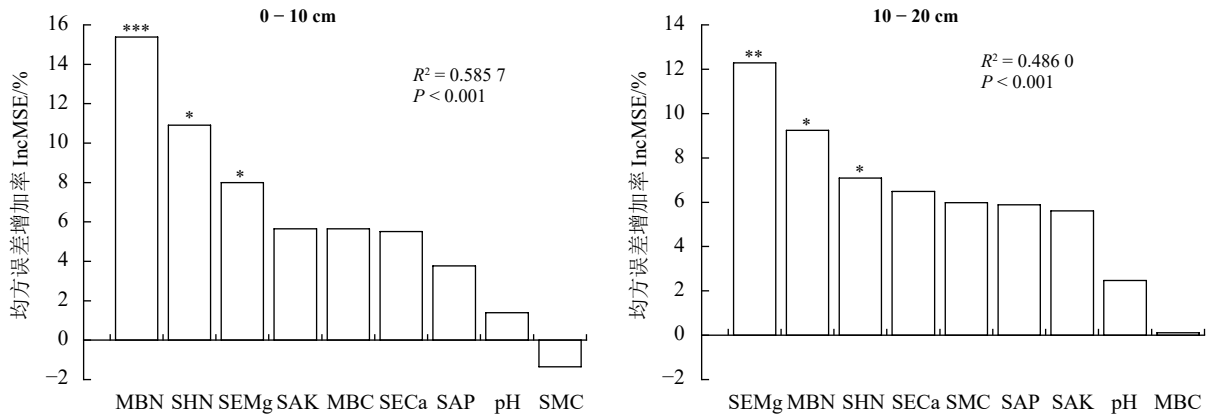


图4 影响锥栗产量的主要土壤环境因子

Figure 4 Primary soil environmental factors affecting *Castanea henryi* yield

\*, \*\*和\*\*\*分别表示在0.05、0.01和0.001水平上差异显著 ( $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ 、 $P < 0.001$ )。

\*, \*\*, \*\*\* indicate significant difference at 0.05, 0.01, and 0.001 levels, respectively.

单位面积产量的主要土壤因子是 SEMg (12.29%,  $P < 0.01$ )、MBN (9.24%,  $P < 0.05$ ) 和 SHN (7.09%,  $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 生草栽培对锥栗园土壤质量的影响

生草栽培能调节土壤 pH, 使土壤酸碱度逐渐趋于中性, 梁博文等<sup>[17]</sup>发现, 盐碱地果园生草栽培后土壤 pH 显著降低。而孙瑶等<sup>[18]</sup>则发现, 生草栽培

使酸化土壤的 pH 较清耕提高 9.1%。本研究中, 生草栽培均在不同程度上提高了土壤的 pH。试验地土壤为酸性红壤, 阳离子交换量低, 持水保肥性能差, 而生草栽培处理增加了土壤  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的含量, 且钾肥的施用提高了土壤  $\text{K}^+$  含量, 盐基离子的增加能促进土壤胶体对  $\text{H}^+$ 、 $\text{Al}^{3+}$  的吸附; 此外, 生草栽培带来的大量腐殖质胶体具有较大的酸碱缓冲性, 能有效缓解土壤的酸化<sup>[19]</sup>; 土壤适宜的 pH 环境使锥



栗的共生菌根繁殖良好, 促进根系对土壤营养元素的吸收<sup>[20]</sup>。

土壤养分是植物生长发育的基础, 生草栽培归还的大量植物残体及根系分泌物, 能激发土壤微生物活力、提高土壤酶活性, 从而促进土壤有机质分解和养分的循环转化<sup>[5]</sup>。郭新送等<sup>[21]</sup>、付学琴等<sup>[8]</sup>研究均表明, 果园生草栽培能显著提高土壤微生物生物量及速效养分的含量, 本研究亦发现, 生草栽培处理的土壤有效态 N、P、K 及 MBC、MBN 含量较 CT 和 GS 处理均有提高。其中, VM 处理的 MBC 含量较高, 这是由于采样时鼠茅草已经干枯腐解, 其残体在土壤表层堆积, 使土壤增加大量有机质, 加之氮磷钾复合肥的施用, 为土壤微生物生长繁殖提供了所需养分, 产生正向激发效应<sup>[22]</sup>, 从而提高了土壤养分矿化速率, 使土壤有效态 N、P、K 含量增加, 为果树生长提供大量可利用的养分。此外, VV 处理的 MBN、MBC 含量较高, MBC/MBN 的值较低, 说明土壤微生物的活性较高<sup>[23]</sup>, 有机氮矿化的速度较快; 但该处理的土壤水解性氮、速效钾含量均不太高, 可能是由于采样时光叶紫花苜蓿已过种子成熟期, N、K 等元素被大量固定, 且锥栗处于果实膨大期, 会迅速消耗微生物矿化作用产生的有效态氮。研究结果还显示, VV 处理的土壤有效磷含量很高, 可能是由于光叶紫花苜蓿能有效提高土壤酸性磷酸酶活性, 促进土壤中有机磷的降解和有效化<sup>[24]</sup>, 这仍需进一步研究验证。

土壤理化性质和聚类分析表明, VM、AS 和 CR 处理对土壤水解性氮和速效钾含量的提高较显著, 而 LP 和 VV 处理则分别对土壤交换性钙镁及有效磷含量的提高较多, 被聚为一类。紫云英作为二年生豆科草本, 固氮能力强, 但本研究中 AS 处理的土壤水解性氮含量不如 VM 处理, 可能是由于紫云英的根瘤菌不是土壤常住微生物群系, 试验地此前未种植过紫云英, 故与其匹配的本地根瘤菌少, 结瘤率低<sup>[25]</sup>; 且本研究紫云英种植仅两年, 种植年限短, 对土壤菌群的影响有限。然而, AS 处理的土壤速效钾含量很高, 是由于紫云英根系具有较强的吸钾能力<sup>[26]</sup>, 钾肥施用后被大量固定, 紫云英对钾肥的固定与释放, 提高了土壤钾的有效性。园叶决明是多年生豆科草本, 极耐瘠薄, 在干旱高温环境下仍能生长旺盛, 固氮培肥效果显著<sup>[27]</sup>; 但 CR 处理的有效

态 N、P、K 含量均低于 VM 处理, 是由于园叶决明在 7 月-9 月生长旺盛, 自身对土壤养分也有一定的需求。黑麦草是多年生禾本科植物, 其发达的须根能分泌出大量有机酸<sup>[28]</sup>, 有利于土壤中难溶性 Ca、Mg 的解离, 因此, LP 处理显著提高了土壤交换性钙镁的含量; 但 LP 处理的其余土壤养分含量均较低, 是由于黑麦草为喜肥牧草, 且花果期为 5 月-7 月份, 其在采样前大量消耗了土壤中的养分元素。

### 3.2 不同处理对锥栗果实农艺性状的影响

研究表明, 果实农艺性状与土壤质量息息相关<sup>[29]</sup>, 本研究中, 生草栽培均能不同程度地改善锥栗园土壤状况, 提高果实品质与产量。其中, VM 处理的土壤水解性氮、有效磷和速效钾及 MBC、MBN 含量均有较大提高, 为锥栗生长提供充足的养分, 促进果实中淀粉、脂肪及钾、钙、镁等营养物质的积累, 果实个头增大, 单位面积产量较 CT 和 GS 处理分别提高了 59.44% 和 111.25%。此外, VV 处理的锥栗产量亦显著提高, 除与可利用氮素的供应有关外, 还与有效磷含量的提高有关, 磷素是锥栗雌花分化和果实成熟的重要养分元素, 黄宏文等<sup>[30]</sup>研究发现, 锥栗的结果枝、雌花及栗苞数量均与树体含磷量密切相关; 陈建华等<sup>[31]</sup>亦发现, 板栗雌花分化数与施磷量的改变显著相关, 而与施氮、钾的量无关。故 VV 处理的栗苞数和结果枝数显著增加, 是锥栗产量提高的重要原因。LP 和 AS 处理分别对土壤交换性钙镁、速效钾含量提升显著, 曹庆昌等<sup>[32]</sup>指出, 镁是栗属植物不可替代的养分元素, 缺镁导致板栗产量锐减, 土壤钙、镁显著影响果实品质和产量, 钾是植物花果期的大量需求元素<sup>[33]</sup>, Mantel Test 检验表明, 土壤速效钾和交换性钙镁均显著影响锥栗果实农艺性状, 随机森林检验亦发现, 镁是影响锥栗单位面积产量的主要因素之一, 故土壤可利用钾、钙及镁含量的增加会在一定程度上提高锥栗产量。此外, 由于园叶决明在锥栗果实生长期存在一定的水肥竞争, 使 CR 处理的锥栗产量低于其他生草栽培处理。

### 3.3 清耕和喷施草甘膦处理对锥栗园的影响

本研究中, CT 和 GS 处理相较于生草栽培处理, 其土壤理化性质较差, 微生物生物量碳氮含量低, 果实品质和产量均不高。清耕和喷施草甘膦使土壤表面缺少覆盖物, 低热容量的土壤易在夏季过

度升温,且加速水分蒸发,故土壤含水率显著下降;此外,在调查过程中亦发现,大雨过后,CT和GS处理的试验区水土流失现象较明显,导致土壤肥力下降。清耕使本应归还土壤的植物残体被清理,养分流失较多,且破坏了微生物生长所依赖的环境,不利于微生物的生存定殖,导致土壤微生物生物量碳氮和养分含量显著降低。草甘膦通过抑制叶绿体内莽草酸磷酸合成酶的活性,使植物代谢紊乱、蛋白质合成受阻,最终死亡。FAN等<sup>[34]</sup>研究表明,草甘膦的施用会抑制土壤固氮微生物的活性,故GS处理的土壤水解性氮、MBN及MBC含量均较低;郭磊等<sup>[35]</sup>亦发现,草甘膦会抑制果树地上部分和根生长,使根尖细胞有丝分裂指数降低,本研究中,GS处理的锥栗结果枝、结果数均显著降低,果树生长不良。

综上,CT和GS处理使土壤不能提供锥栗开花

结实期所需的养分环境,严重抑制锥栗果实生长,增加栗果空苞率,从而降低锥栗产量,损害果农经济效益。

#### 4 结论

以生草栽培替代锥栗园传统地面管理方式行之有效,可以改善土壤理化性质,增加土壤微生物生物量碳氮,提升土壤质量;同时,生草栽培可以提高锥栗产量,使锥栗果实增大增重,提高果实中淀粉、可溶性糖、脂肪、蛋白质以及磷、钾、钙、镁等营养物质的含量;本研究中鼠茅草栽培对锥栗园土壤质量的改善和栗果农艺性状的提升效果均较好,可作为生草栽培的优先选用草种,研究结果对锥栗园土壤管理方式的转变及推进锥栗产业高质量发展具有一定的参考价值。

#### 参考文献 References:

- [1] RATTAN LAL. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. *Sustainability*, 2015, 7: 5875-5895.
- [2] 孙波,赵其国,张桃林,俞慎. 土壤质量与持续环境 III. 土壤质量评价的生物学指标. *土壤*, 1997(5): 225-234.  
SUN B, ZHAO Q G, ZHANG T L, YU S. Soil quality and sustainable environment III. Biological indicators for soil quality assessment. *Soils*, 1997(5): 225-234.
- [3] 李晓娜,张微微,赵春桥,宋进库,史瑞双,薛瑞彬,王超. 延庆区荒滩地土壤理化性质及其对植物多样性的影响. *草地学报*, 2019, 27(3): 695-701.  
LI X N, ZHANG W W, ZHAO C Q, SONG J K, SHI R S, XUE R B, WANG C. Plant diversity and soil physicochemical properties in the wasteland of Yanqing district. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(3): 695-701.
- [4] 李英,韩红艳,王文娟,杨光菲,赵灿灿. 黄淮海平原不同土地利用方式对土壤有机碳及微生物呼吸的影响. *生态环境学报*, 2017, 26(1): 62-66.  
LI Y, HAN H Y, WANG W J, YANG G F, ZHAO C C. Effects of different land use types on soil organic carbon and microbial respiration in Huang-Huai-Hai Plain. *Ecology and Environmental Sciences*, 2017, 26(1): 62-66.
- [5] 曹铨,沈禹颖,王自奎,张小明,杨轩. 生草对果园土壤理化性状的影响研究进展. *草业学报*, 2016, 25(8): 180-188.  
CAO Q, SHEN Y Y, WANG Z K, ZHANG X M, YANG X. Effects of living mulch on soil physical and chemical properties in orchards: a review. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(8): 180-188.
- [6] DRINKWATER L E, WAGONER P, SARRANTONIO M. Legume based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, 2006, 396: 262-265.
- [7] 郭晓睿,宋涛,邓丽娟,张卫峰,焦小强. 果园生草对中国果园土壤肥力和生产力影响的整合分析. *应用生态学报*, 2021, 32(11): 4021-4028.  
GUO X R, SONG T, DENG L J, ZHANG W F, JIAO X Q. Effects of grass growing on soil fertility and productivity of orchard in China: A meta-analysis. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(11): 4021-4028.
- [8] 付学琴,杨星鹏,陈登云,甘燕云,黄文新. 南丰蜜橘果园生草栽培对土壤团聚体和有机碳特征及果实品质的影响. *园艺学报*, 2020, 47(10): 1905-1916.  
FU X Q, YANG X P, CHEN D Y, GAN Y Y, HUANG W X. Effects of sod culture on soil aggregates, organic carbon characteristic and fruit quality of Nanfeng tangerine orchard. *Acta Horticulturae Sinica*, 2020, 47(10): 1905-1916.

- [9] 秦秦, 宋科, 孙丽娟, 孙雅菲, 王峻, 江建兵, 薛永. 猕猴桃园行间生草对土壤养分的影响及有效性评价. *果树学报*, 2020, 37(1): 68-76.  
QIN Q, SONG K, SUN L J, SUN Y F, WANG J, JIANG J B, XUE Y. Effect of inter-row sod system on the contents and availability of soil nutrients in a kiwifruit orchard. *Journal of Fruit Science*, 2020, 37(1): 68-76.
- [10] 胡枫, 杨熠路, 倪照君, 田传正, 卢炫羽, 高志红. 生草对桃园土壤及桃果实品质的影响. *江苏林业科技*, 2020, 47(3): 31-37.  
HU F, YANG Y L, NI Z J, TIAN C Z, LU X Y, GAO Z H. Effects of sod culture on fruit quality and soil in peach orchard. *Journal of Jiangsu Forestry Science and Technology*, 2020, 47(3): 31-37.
- [11] 陈久红, 马建江, 李永丰, 鲁晓燕, 蒋媛, 叶佳俊. 行间生草对‘库尔勒香梨’果园小气候、光合特性及果实品质的影响. *北方园艺*, 2019, 43(22): 49-59.  
CHEN J H, MA J J, LI Y F, LU X Y, JIANG Y, YE J J. Effects of herbage on ecological environment and photosynthetic characteristics fruits quality of ‘Korla fragrant pear’. *Northern Horticulture*, 2019, 43(22): 49-59.
- [12] 马海泉, 江锡兵, 龚榜初, 吴开云, 赵献民. 我国锥栗研究进展及发展对策. *浙江林业科技*, 2013, 33(1): 62-67.  
MA H Q, JIANG X B, GONG B C, WU K Y, ZHAO X M. Dvance of researches on *Castanea henryi* and of further development in China. *Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology*, 2013, 33(1): 62-67.
- [13] 高清贵. 福建省建甌市锥栗山水土流失防治措施及其效益初探. *亚热带水土保持*, 2016, 28(1): 37-39.  
GAO Q G. Preliminary study on the prevention and control measures of soil-water erosion and their benefits in *Castanea henryi* mountain of Jian'ou city, Fujian Province. *Subtropical Soil and Water Conservation*, 2016, 28(1): 37-39.
- [14] 肖好燕, 刘宝, 余再鹏, 万晓华, 桑昌鹏, 周富伟, 黄志群. 亚热带不同林分土壤矿质氮库及氮矿化速率的季节动态. *应用生态学报*, 2017, 28(3): 730-738.  
XIAO H Y, LIU B, YU Z P, WAN X H, SANG C P, ZHOU F W, HUANG Z Q. Seasonal dynamics of soil mineral nitrogen pools and nitrogen mineralization rate in different forests in subtropical China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(3): 730-738.
- [15] 齐香君, 苟金霞, 韩戌珺, 闫博. 3, 5-二硝基水杨酸比色法测定溶液中还原糖的研究. *纤维素科学与技术*, 2004, 12(3): 17-19,30.  
QI X J, GOU J X, HAN X J, YAN B. Study on measuring reducing sugar by DNS reagent. *Journal of Cellulose Science and Technology*, 2004, 12(3): 17-19,30.
- [16] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导. 北京: 中国轻工业出版社, 2007.  
CAO J K, JIANG W B, ZHAO Y M. Experimental Guidance of Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables. Beijing: China Light Industry Press, 2007.
- [17] 梁博文, 刘成连, 王永章, 李文燕, 原永兵. 黄河三角洲梨园自然生草对土壤的影响. *中国农学通报*, 2014, 30(1): 143-148.  
LIANG B W, LIU C L, WANG Y Z, LI W Y, YUAN Y B. Effects of natural cover grass in pear orchard on soil pH in Yellow River Delta. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(1): 143-148.
- [18] 孙瑶, 马金昭, 傅国海, 张培苹, 马荣辉, 孙景宽, 董凯凯. 土壤调理剂和生草互作对果园酸化土壤化学性质及产量的影响. *中国土壤与肥料*, 2021(2): 61-68.  
SUN Y, MA J Z, FU G H, ZHANG P P, MA R H, SUN J K, DONG K K. Effects of soil conditioner and growing grass on yield and soil chemical properties in orchard acidic soils. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021(2): 61-68.
- [19] 李阳, 王继红. 长期施肥土壤腐殖质变化及其与土壤酸度变化的关系. *南京农业大学学报*, 2016, 39(1): 114-119.  
LI Y, WANG J H. Variation of soil humus under long-term fertilization and its relation to soil acidity. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2016, 39(1): 114-119.
- [20] 刘冬明, 袁德义, 邹锋, 张旭辉, 朱周俊, 谭露曼. 3 种锥栗外生菌根真菌培养条件的单因素优化. *西北林学院学报*, 2016, 31(2): 195-200.  
LIU D M, YUAN D Y, ZOU F, ZHANG X H, ZHU Z J, TAN L M. Optimization of culture conditions for 3 *Castanea henryi* ectomycorrhizal fungi. *Journal of Northwest Forestry University*, 2016, 31(2): 195-200.
- [21] 郭新送, 张娟, 巩有才, 李巧玉, 杜栋梁, 陈士更, 刘同信, 马学文. 生草不同条件还田对桃园土壤微生物、酶活性及养分供应的影响. *水土保持学报*, 2021, 35(4): 307-312,320.  
GUO X S, ZHANG J, GONG Y C, LI Q Y, DU D L, CHEN S G, LIU T X, MA X W. Effect of grass return under different conditions on soil microorganism, enzyme activities and nutrients supply in peach orchard. *Journal of Soil and Water Conversation*, 2021, 35(4): 307-312,320.

- [22] 田玉强,陈颖,欧阳胜男,孙悦. 外源性碳氮添加对北方半干旱草原土壤有机质矿化的影响. 生态环境学报, 2020, 29(6): 1101-1108.  
TIAN Y Q, CHEN Y, OUYANG S N, SUN Y. The effect of carbon and nitrogen addition on soil organic matter mineralization in the semi-arid grassland of north China. *Ecology and Environmental Sciences*, 2020, 29(6): 1101-1108.
- [23] 朱利霞,陈居田,徐思薇,陈如冰,李俐俐. 生物炭施用下土壤微生物量碳氮的动态变化. 中国农业科技导报, 2021, 23(8): 193-200.  
ZHU L X, CHEN J T, XU S W, CHEN R B, LI L L. Dynamics of soil microbial biomass carbon and nitrogen after biochar application. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, 23(8): 193-200.
- [24] 赵书军, 秦兴成, 张新然, 倡国涵, 徐祥玉, 袁家富. 不同绿肥翻压量及施肥条件下土壤酸性磷酸酶活性的变化. 中国烟草科学, 2011, 32(S1): 99-102.  
ZHAO S J, QIN X C, ZHANG X R, LYU G H, XU X Y, YUAN J F. Correlation between soil acid phosphatase and soil fertility under the condition of different manuring. *Chinese Tobacco Science*, 2011, 32(S1): 99-102.
- [25] 刘芳, 陈震, 徐雯, 储志英, 管永祥, 吴桂成, 还静, 孙政国. 不同稻茬土壤对紫云英根瘤生长特性的影响研究. 草业学报, 2020, 29(6): 153-161.  
LIU F, CHEN Z, XU W, CHU Z Y, GUAN Y X, WU G C, HUAN J, SUN Z G. Impacts of different paddy soils on nodule growth characteristics of Chinese milk vetch. *Acta Prataculturae Sinica*, 2020, 29(6): 153-161.
- [26] 张帆, 杨茜. 紫云英与双季稻秸秆协同利用影响稻田土壤钾循环与平衡. 草业学报, 2021, 30(1): 72-80.  
ZHANG F, YANG Q. Effects of co-utilization of Chinese milk vetch and rice straw on the potassium cycle and potassium balance in a paddy soil. *Acta Prataculturae Sinica*, 2021, 30(1): 72-80.
- [27] 杨庆, 王义祥, 李欣欣, 翁伯琦, 廖红. 酸性土壤中决明属牧草高效根瘤菌的分离及筛选. 草地学报, 2020, 28(6): 1519-1526.  
YANG Q, WANG Y X, LI X X, WENG B Q, LIAO H. Isolation and screening of effective rhizobial strains of *Cassia* (*Chamaecrista* spp.) pasture in acidic soils. *Acta Agrestia Sinica*, 2020, 28(6): 1519-1526.
- [28] XIE M J, YAN C L, YE J, WEI L L. Impact of phenanthrene on organic acids secretion and accumulation by perennial ryegrass, *Lolium perenne* L. root. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2009, 83(1): 75-80.
- [29] 尤龙辉. 生草栽培对锥栗叶片生理生化及土壤理化性质的影响. 林业勘测设计, 2020, 40(4): 13-19.  
YOU L H. The effects of sod culture towards the physiological and biochemical properties of *Castanea henryi* leaves and the physicochemical properties of soil. *Forestry Prospect and Design*, 2020, 40(4): 13-19.
- [30] 黄宏文, 张力田, 卢瑛. 磷对板栗结实性能及产量的影响. 园艺学报, 1991, 18(1): 21-26.  
HUANG H W, ZHANG L T, LU Y. Effects of phosphorus on seed performance and yield of *Castanea mollissima* Blume. *Acta Horticulturae Sinica*, 1991, 18(1): 21-26.
- [31] 陈建华, 何钢, 李志辉, 杨模华. 促进板栗雌花芽分化的研究. 中南林学院学报, 2002, 22(1): 27-30.  
CHEN J H, HE G, LI Z H, YANG M H. Promoting the differentiation of female buds of *Castanea mollissima* Blume. *Journal of Central South Forestry University*, 2002, 22(1): 27-30.
- [32] 曹庆昌, 王乐乐, 曹均, 孙明德. 燕山板栗钙、镁、硼、锌施肥效果的研究. 北方园艺, 2011(9): 37-40.  
CAO Q C, WANG L L, CAO J, SUN M D. Effect of calcium, magnesium, boron, and zinc fertilizer application on Yanshan maintain chestnut soil. *Northern Horticulture*, 2011(9): 37-40.
- [33] 曹胜, 周卫军, 刘沛, 谭洁, 宋彪. 冰糖橙果园土壤养分与果实品质关系的多元分析及优化方案. 土壤, 2021, 53(1): 97-104.  
CAO S, ZHOU W J, LIU P, TAN J, SONG B. Multivariate analysis and optimization of relationship between soil nutrients and fruit quality in *C. sinensis* (L.) osbeck orchard. *Soils*, 2021, 53(1): 97-104.
- [34] FAN L, FENG Y, WEAVER D B, DELANEYA D P, WEHTJEA G R, WANG G. Glyphosate effects on symbiotic nitrogen fixation in glyphosate-resistant soybean. *Applied Soil Ecology*, 2017, 121: 11-19.
- [35] 郭磊, 张斌斌, 沈江海, 何鑫, 宋宏峰. 草甘膦和百草枯对毛桃幼苗根系形态及地上部生长的影响. 应用生态学报, 2020, 31(2): 524-532.  
GUO L, ZHANG B B, SHEN J H, HE X, SONG H F. Effects of glyphosate and paraquat on root morphology and aboveground growth of *Prunus persica* seedlings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(2): 524-532.

(责任编辑 张瑾)