

种植方式和种植年限对五指毛桃植株生物量和矿质元素含量的影响

袁淑娜, 涂寒奇, 潘 剑, 黄坚雄, 王秀全*

中国热带农业科学院橡胶研究所/农业农村部儋州热带作物科学观测试验站/中国热带农业科学院林下资源综合利用研究中心, 海南儋州 571737

摘 要: 为明确五指毛桃植株矿质营养构成, 充分利用五指毛桃生产中的副产物, 提高五指毛桃种植的经济效益, 增加养殖业饲料来源, 本研究对胶园林下间作和单作种植条件下一年生和两年生五指毛桃植株(叶片、茎秆和果实)的生物量和矿质元素含量进行分析。结果表明: ①五指毛桃地上部分生物量范围在 3.06~9.22 t/hm² 之间, 表现为单作>间作, 两年生>一年生; 间作条件下五指毛桃叶生物量占比增加, 茎生物量占比降低, 林下间作两年生五指毛桃植株以果实发育为主, 果实生物量占比较一年生增加 99.64%。②五指毛桃植株叶片中 N、Ca、Mg、Mn 含量较高, 果实中 P、K、Ca、Mg、Fe、Zn 含量较高, 茎秆中 Zn、Cu 含量较高; 两年生五指毛桃植株 N、P、K、Mg、Fe、Mn、Cu 含量均显著高于一年生, 但 Zn 含量显著下降, Ca 含量一年生和两年生植株无显著差异; 橡胶林下间作可增加五指毛桃植株中 N、K、Mg、Mn、Cu、Zn 含量, 降低 P、Ca、Fe 含量。③五指毛桃植株矿质营养丰富, 叶片和果实中矿质元素含量高于茎秆, 林下种植可以提高植株 N、K、Mg、Cu 和 Zn 总含量, 降低 Ca 和 Fe 总含量; 常量元素中钾含量最高, 磷含量最低, 五指毛桃叶片、茎秆和果实中钙磷比在 1.52~4.84 之间; 微量元素中, Mn 含量最高, Cu 含量最低。本研究结果显示, 五指毛桃植株叶片和果实矿质元素含量高于茎秆, 两年生植株矿质营养优于一年生, 林下间作会改变其植株矿质营养组成。从矿质营养组成看, 五指毛桃植株不适合单独饲喂, 可作为饲料添加剂替代部分粗饲料, 节约饲料成本。

关键词: 五指毛桃; 生物量分配; 矿质元素含量; 间作

中图分类号: S668.3 文献标识码: A

Effects of Planting Patterns and Planting Years on Biomass and Mineral Element Content of *Ficus hirta* Vahl

YUAN Shuna, TU Hanqi, PAN Jian, HUANG Jianxiong, WANG Xiuquan*

Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences / Danzhou Investigation and Experiment Station of Tropical Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / Research Center for Utilization of Under-forest Resources, Danzhou, Hainan 571737, China

Abstract: This study aimed to investigate the mineral nutrient composition, improve the economic benefits of *Ficus hirta* Vahl (FH) planting and increase the feed source for the animal farming. The biomass and mineral elements content in leaf, stem and fruit of one-year and two-year-old FH plants intercropped with rubber tree and monoculture was analyzed in the study. The results showed that the aboveground biomass of FH ranged from 3.06 to 9.22 t/hm², which showing monoculture>intercropping, biennial>annual. Intercropping increased the leaf biomass of FH and decreased the stem biomass. Two-year-old intercropping FH plant was mainly fruit development and the fruit biomass was signifi-

收稿日期 2022-08-03; 修回日期 2022-10-08

基金项目 海南省自然科学基金项目 (No. 320MS110); 海南省重点研发专项 (No. ZDYF2020067); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (No. 1630022021004)。

作者简介 袁淑娜 (1982—), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 林下资源收集与应用。*通信作者 (Corresponding author): 王秀全 (WANG Xiuquan), E-mail: wangxqjialiwx@126.com。

cantly increased by 99.64%. Aboveground plants of FH was rich in mineral elements. The content of mineral elements in leaves and fruits was higher than that in stems. Intercropping under the rubber plantation increased the contents of N, K, Mg, Mn, Cu and Zn, and reduced the contents of Ca and Fe. In the macroelements, the content of K was the highest and P content was the lowest. The ratio of Ca to P in leaves, stems and fruits was between 1.52 and 4.84. In the microelements, the content of Mn was the highest and Cu content was the lowest. The content of mineral elements in leaves and fruits of FH was higher than that in stems. The mineral nutrition of two-year plants was better than that of one-year plants. Intercropping under forests would change the mineral nutrition composition of plants. The FH plant was not suitable for feeding alone according to its mineral nutrient composition. But it could be used as a feed additive to replace part of roughage and save feed cost.

Keywords: *Ficus hirta* Vahl; biomass allocation; mineral element contents; intercropping

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.10.015

五指毛桃为桑科植物粗叶榕 (*Ficus hirta* Vahl) 的干燥根, 是华南地区知名的常用药材及药食同源植物, 具有健脾补肺、益气化湿、疏通筋络等保健效果^[1-3]和抗菌、镇痛、增强免疫力、抗氧化损伤等药理活性^[4-6]。五指毛桃主要采收根部, 地上部分虽然生物量巨大, 但作为生产副产物, 多废弃不用。生产上虽有关于五指毛桃植株作为饲料的用法, 但因其植株营养成分含量未有研究, 致使其利用率较低。对五指毛桃植株营养成分进行详细分析, 既可显著增加其生产副产物的利用率, 提高其种植效益, 又可开辟新的饲料资源, 发展节粮型畜牧业。

矿质元素是植物生长发育所必需的营养元素, 也是牧草矿质营养的重要组成部分, 不仅直接影响到植物的生产力, 对食草动物生产力的高低及畜产品品质起到关键作用^[7-8]。植物是土壤和家畜之间进行营养交换的载体, 对植物矿质元素的分析, 是指导动物每日养料补充搭配的前提, 牧草中一些微量元素的缺乏或过剩会导致家畜各种疾病^[9]。因此, 全面了解五指毛桃植株中矿质养分的含量特征对其作为饲料开发利用有重要意义。

五指毛桃生产上主要有单作和林下间作 2 种植模式, 其相关的栽培研究主要集中于栽培技术对其根部产量和品质的影响方面^[10-11], 而不同种植条件下五指毛桃植株矿质营养表现未见报道。已有研究表明, 环境条件的改变不仅会影响植物体内矿质元素含量, 还会改变矿质元素组成^[12-14]。因此, 本研究对单作和橡胶林下间作种植条件下一年生和两年生五指毛桃植株的生物量和矿质元素含量进行分析, 以期对五指毛桃植株多元化利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试材料为五指毛桃种子苗, 苗高 10~15 cm, 3~5 片叶。五指毛桃为 2014 年野外采集的海南本地野生品种, 移栽于中国热带农业科学院橡胶所 A 点苗圃, 具有较强的适应性, 叶互生, 叶形掌状五裂, 根浅黄色, 皮柔韧, 有香气。繁殖方式为种子繁殖。

所用仪器为 T6 新世纪紫外可见分光光度计、YN-LWY84B 消煮炉、FP6410 火焰光度计、GZX-9240MBE 烘箱、岛津 AA-6650 原子吸收光谱仪、KXX-12-12 箱式电阻炉。

1.2 方法

1.2.1 试验设计 试验于 2019 年 3 月至 2021 年 5 月在中国热带农业科学院橡胶研究所三队 (19°32'55"N, 109°28'30"E) 进行, 该地区为典型的热带海洋季风气候。间作 (IN) 试验所用橡胶林林段坡度约为 10°, 橡胶树为宽窄行种植, 宽行为 20 m, 窄行的株行距为 2 m×4 m, 施肥沟 (坑) 位于窄行当中, 2019 年宽行中的冠幅约 5.8 m, 林段种植方向为南北走向, 橡胶树密度为 420 株/hm²。胶园于 2002 年 3 月定植, 2010 年进入成龄期开割, 橡胶树品种为热研 917, 为直立速生品种。单作 (MO) 试验位于橡胶林 900 m 处的非林试验地。单作和间作试验地的土壤质地均为粉砂黏壤土, 试验前测定 0~20 cm 土壤肥力基本一致 (表 1)。于 2019 年 3 月选取苗龄一致、株高 10~15 cm 的五指毛桃幼苗, 移栽至单作和间作五指毛桃种植区。橡胶林下间作种植区为橡胶树宽行间, 胶作距 2 m, 小区面积为 120 m², 单作种植五指毛桃小区面积为 64 m², 五指毛桃种植株行距为 80 cm×80 cm。每个种植区均设置 3 次重复。

表 1 间作和单作试验点土壤基础地力

Tab. 1 Soil fertilities in intercropping and monoculturing experimental sites

实验点 Experiment site	pH	有机质 SOM/ (g·kg ⁻¹)	全氮 TN/ (g·kg ⁻¹)	速效磷 AP/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾 AK/ (mg·kg ⁻¹)
间作地	4.54	12.07	0.41	31.65	56.47
单作地	4.64	12.40	0.40	12.99	64.58

1.2.2 生物量测定 于 2020 年 3 月和 2021 年 3 月在间作和单作试验地每个小区随机取样 10 株, 分别共 30 株进行五指毛桃地上部分生物量测定。测定时将整个植株地上部分按照叶片 (L)、茎秆 (S) 和果实 (F) 分开, 分别装入纸袋中, 置于烘箱内, 105 °C 杀青 1 h, 85 °C 烘干至恒重, 称重记录重量, 为叶片、茎秆和果实的生物量, 各部分总和即为五指毛桃地上部分生物量。间作叶片、茎秆和果实分别记录为 IN-L、IN-S 和 IN-F; 单作叶片、茎秆和果实分别记录为 MO-L、MO-S 和 MO-F; 一年生 (1Y) 和两年生 (2Y) 间作叶片、茎秆、果实分别记录为 1Y-IN-L、1Y-IN-S、1Y-IN-F, 2Y-IN-L、2Y-IN-S、2Y-IN-F; 一年生和两年生单作叶片、茎秆、果实分别记录为 1Y-MO-L、1Y-MO-S、1Y-MO-F, 2Y-MO-L、2Y-MO-S、2Y-MO-F。各小区单收单称单烘, 烘干后的五指毛桃叶片、茎秆和果实, 分别粉碎, 装袋, 用于各部位矿质元素含量测定。五指毛桃植株样品由中国热带农业科学院橡胶研究所栽培学科重点实验室完成测定。

1.2.3 氮 (N)、磷 (P)、钾 (K) 待测液制备及测定 取 1.2.2 烘干粉碎后的植物样品, 称样约 0.06 g, 置于 25 mL 消煮管, 加 1.5 mL H₂SO₄, 放入控温式远红外消煮炉由 200 °C 逐渐升温至 300 °C, 保持 1.5~2 h 至溶液变为棕褐色, 依次加入 4~5 滴 H₂O₂, 继续消化 10~20 min, 直至溶液变为无色。取出冷却后, 加水定容至 25 mL, 此为 N、P、K 待测液。氮含量采用凯氏定氮法测定, 磷含量采用以抗坏血酸为还原剂的钼蓝比色法测定, 钾含量采用火焰光度计法测定。

1.2.4 钙 (Ca)、镁 (Mg)、铁 (Fe)、锰 (Mn)、铜 (Cu)、锌 (Zn) 待测液制备及测定 取 1.2.2 烘干粉碎后的植物样品, 称样 0.4~0.5 g, 置于坩埚中, 电炉初烧 (微烧, 不冒烟) 转入马弗炉 550 °C 2 h, 关电降温, 冷却后取出样品, 加 5% HCl 5 mL, 放入 105 °C 烘箱 45 min。取出后用蒸馏水冲洗坩

埚至 100 mL 容量瓶, 摇匀后, 倒入提前泡酸清洗晾干的塑料瓶里保存, 此为待测液。Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 含量采用原子吸收分光光度计法测定。

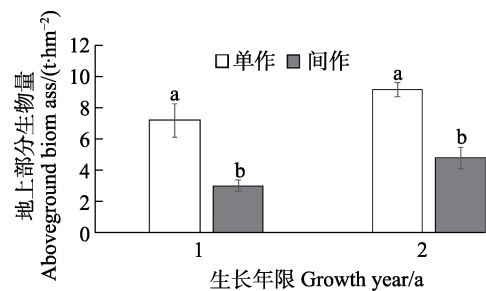
1.3 数据处理

用 Excel 2010、SPSS17.0 软件进行数据处理和统计分析, 在 $P < 0.05$ 统计水平上采用 LSD 法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 五指毛桃植株地上部分生物量表现

如图 1 所示, 五指毛桃地上部分生物量范围在 3.06~9.22 t/hm² 之间, 表现为单作 (MO) > 间作 (IN), 两年生 (2Y) > 一年生 (1Y)。林下间作五指毛桃地上部分生物量比单作降低 57.84% (1Y) 和 47.59% (2Y)。两年生五指毛桃地上部分生物量比一年生分别增加 27.16% (MO) 和 58.10% (IN), 差异达显著水平 ($P < 0.05$)。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$).

图 1 不同种植方式和种植年限五指毛桃地上部分生物量表现

Fig. 1 Aboveground biomasses of *F. hirta* Vahl with different years under different planting patterns

五指毛桃地上部分生物量分配见表 2, 茎生物量占比最大, 叶生物量次之, 果实占比最少。林下间作可增加五指毛桃植株叶生物量, 降低五指毛桃植株茎和果生物量。间作五指毛桃叶生物量占比较单作增加 56.83% (1Y) 和 43.14% (2Y), 差异达显著水平 ($P < 0.05$), 果生物量占比降低 58.48% (1Y) 和 36.95% (2Y), 差异达显著水平 ($P < 0.05$)。两年生五指毛桃植株果生物量占比较一年生增加 31.47% (MO) 和 99.64% (IN), 间作五指毛桃增幅显著大于单作, 差异均达显著水平 ($P < 0.05$)。两年生五指毛桃叶生物量占比较一年生降低 15.64% (MO) 和 23.01% (IN)。

表 2 不同种植条件和种植年限五指毛桃地上部分
生物量分配

Tab. 2 Aboveground biomasses allocation of *F. hirta* Vahl with different years under different planting patterns %

处理 Treatment	叶占比 Leaf proportion	果占比 Fruit proportion	茎占比 Stem proportion
1Y-MO	20.19 ^{bc}	3.94 ^b	75.87 ^a
1Y-IN	31.66 ^a	1.64 ^d	66.70 ^a
2Y-MO	17.03 ^c	5.18 ^a	77.79 ^a
2Y-IN	24.38 ^b	3.27 ^c	72.36 ^a

注: 同列不同小写字母表示处理间显著差异 ($P<0.05$)。

Note: The lowercase letters in the same column indicate significant difference among different treatment ($P<0.05$).

2.2 五指毛桃叶片、茎秆和果实 N、P、K 含量分析

从表 3 可以看出, 五指毛桃植株 N 含量总体表现为叶片(L)>果实(F)>茎秆(S), 间作(IN)>单作(MO), 两年生(2Y)>一年生(1Y)。两年生间作五指毛桃叶片(2Y-IN-L) N 含量最高, 达 3.43%, 较 2Y-MO-L、1Y-IN-L 和 1Y-MO-L 分别增加 32.21%、29.03%和 54.07%。两年生五指毛桃果实(2Y-IN-F) N 含量为 2.60%, 较 2Y-MO-F、1Y-IN-F 和 1Y-MO-F 分别增加 32.38%、14.61%和 77.63%。五指毛桃茎秆 N 含量最低。1Y-IN-L 和 1Y-IN-F 的 N 含量差异不显著, 其余处理五指毛桃果实和茎秆 N 含量均显著低于叶片 ($P<0.05$)。

五指毛桃植株 P 含量无明显规律性。从富集部位看, 间作茎秆(IN-S) P 含量显著低于间作果实(IN-F) ($P<0.05$)。1Y-MO 五指毛桃植株各部位 P 含量差异不显著, 2Y-MO-L 的 P 含量显著低于 2Y-MO-S 和 2Y-MO-F ($P<0.05$)。从种植年限分析, 两年生五指毛桃植株平均 P 含量较一年生分别增加 25.88% (IN) 和 12.85% (MO)。从种植方式看, 1Y 五指毛桃 MO 和 IN 植株的 P 含量无显著差异。2Y-IN-L 的 P 含量显著高于 2Y-MO-L, 而 2Y-IN-S 的 P 含量显著低于 2Y-MO-S。

五指毛桃植株 K 含量总体表现为 F>L>S, IN>MO, 2Y>1Y。1Y-IN-F 的 K 含量显著高于 1Y-IN-S ($P<0.05$)。两年生植株 K 含量各处理间差异较大, 2Y-IN-F 的 K 含量最高, 其次为 2Y-MO-F 和 2Y-IN-L, 2Y-MO-S 的 K 含量最低。间作(IN) 植株 K 含量高于单作(MO), IN-F 的 K 含量比 MO-F 分别增加 31.72% (1Y) 和 11.53% (2Y), IN-L 的 K 含量比 MO-L 分别增加 32.56% (1Y) 和 17.20% (2Y), IN-S 的 K 含量比 MO-S 分别增加 6.99% (1Y) 和 50.55% (2Y)。

两年生五指毛桃植株 K 含量均高于一年生, 分别增加 20.98% (IN) 和 25.10% (MO)。

表 3 不同种植条件和种植年限五指毛桃植株叶片、
茎秆和果实 N、P、K 含量

Tab. 3 N, P and K content in leaf, stem and fruit of *F. hirta* Vahl with different years under different planting patterns %

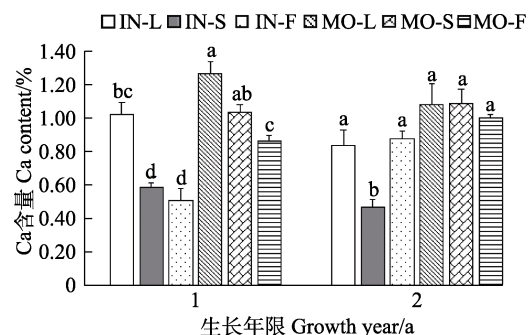
处理 Treatment	N	P	K
1Y-IN-L	2.66 ^a	0.19 ^{ab}	2.72 ^a
1Y-IN-S	0.96 ^{bc}	0.17 ^b	1.40 ^b
1Y-IN-F	2.27 ^a	0.31 ^a	3.21 ^a
1Y-MO-L	2.23 ^{ab}	0.21 ^{ab}	2.05 ^{ab}
1Y-MO-S	0.70 ^c	0.26 ^{ab}	1.31 ^b
1Y-MO-F	1.46 ^b	0.29 ^{ab}	2.44 ^{ab}
2Y-IN-L	3.43 ^a	0.27 ^b	2.89 ^b
2Y-IN-S	1.57 ^{cd}	0.21 ^{bc}	2.47 ^c
2Y-IN-F	2.60 ^b	0.36 ^a	3.52 ^a
2Y-MO-L	2.59 ^b	0.19 ^c	2.46 ^c
2Y-MO-S	1.28 ^d	0.32 ^a	1.64 ^d
2Y-MO-F	1.96 ^c	0.34 ^a	3.15 ^b

注: 同列不同小写字母表示处理间显著差异 ($P<0.05$)。

Note: The lowercase letters in the same column indicate significant difference among different treatment ($P<0.05$).

2.3 五指毛桃叶片、果实和茎秆 Ca、Mg 含量分析

如图 2 所示, 一年生五指毛桃植株 Ca 含量表现为 L>S>F, MO>IN。1Y-L 的 Ca 含量较 1Y-S 和 1Y-F 分别增加 40.82%和 67.17%, 差异达显著水平 ($P<0.05$)。间作(IN) 植株平均 Ca 含量较单作(MO) 降低 33.12% (1Y) 和 31.48% (2Y), 差异达显著水平 ($P<0.05$)。2Y-IN-S 的 Ca 含量



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。

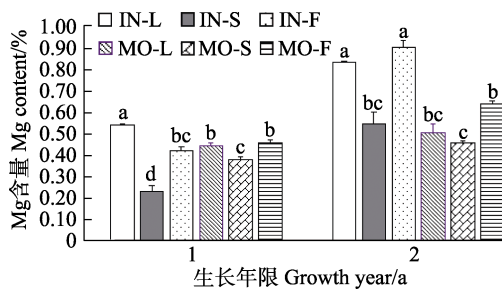
Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

图 2 不同种植方式和种植年限五指毛桃叶片、
茎秆和果实 Ca 含量分析

Fig. 2 Ca content in leaves, stems and fruits of *F. hirta* Vahl with different years under different planting patterns

为 0.47%，显著低于其他处理。两年生五指毛桃果实平均 Ca 含量比一年生增加 36.84% ($P<0.05$)。

如图 3 所示，一年生五指毛桃植株叶片 (1Y-IN-L) 的 Mg 含量最高，显著高于其他处理，1Y-IN-S 的 Mg 含量最低，仅为 1Y-IN-L 的 42.63%。两年生五指毛桃植株 Mg 含量表现为 F>L>S，IN>MO，2Y-IN-F 的 Mg 含量最高，其次为 2Y-IN-L，二者差异不显著，均显著高于其他处理。2Y-IN 五指毛桃间作植株平均 Mg 含量较 2Y-MO 增加 42.40%，差异达显著水平 ($P<0.05$)。两年生植株平均 Mg 含量较一年生增加 91.49% (IN) 和 25.38% (MO)，差异达显著水平 ($P<0.05$)。



不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)
Different lowercase letters indicate significant difference among treatments ($P<0.05$).

图 3 不同种植方式和种植年限五指毛桃叶片、茎秆和果实 Mg 含量分析

Fig. 3 Mg content in leaf, stem and fruit of *F. hirta* Vahl with different years under different planting patterns

2.4 五指毛桃叶片、茎秆和果实 Fe、Mn、Cu、Zn 含量分析

从表 4 可以看出，五指毛桃 L、S 和 F 的 Fe 含量差异不显著，MO>IN。间作 (IN) 五指毛桃植株平均含 Fe 量比单作 (MO) 分别降低 67.96% (1Y) 和 53.27% (2Y)，差异达显著水平 ($P<0.05$)。从种植年份看，两年生植株平均 Fe 含量较一年生分别增加 26.24% (IN) 和降低 13.45% (MO)。间作种植五指毛桃果实第二年发育完善，2Y-IN-F 的 Fe 含量较 1Y-IN-F 增加 200.51%，与 2Y-MO-F 无显著差异。

五指毛桃植株 Mn 含量表现为 L>F>S。间作和单作，两年生 (2Y) 和一年生 (1Y) 植株间 Mn 含量无显著差异。2Y-IN-F 的 Cu 含量最高，其次为 2Y-IN-S 和 2Y-MO-S，2Y-MO-L 的 Cu 含量最低。两年生五指毛桃植株平均含 Cu 量比一年生分别增加了 34.90% (IN) 和 22.97% (MO)。间作 (IN) 五指毛桃植株平均含 Cu 量比单作 (MO)

表 4 不同种植条件和种植年限五指毛桃植株叶片、茎秆和果实 Fe、Mn、Cu、Zn 含量

Tab. 4 Fe, Mn, Cu and Zn content in leaf, stem and fruit of *F. hirta* Vahl with different years under different planting patterns

处理 Treatment	Fe	Mn	Cu	Zn
1Y-IN-L	33.20 ^b	2384.78 ^a	14.01 ^a	113.98 ^b
1Y-IN-S	36.46 ^b	731.95 ^c	14.71 ^a	106.14 ^b
1Y-IN-F	29.05 ^b	1341.07 ^b	16.33 ^a	71.62 ^c
1Y-MO-L	111.08 ^a	2110.72 ^a	13.06 ^a	88.35 ^{bc}
1Y-MO-S	101.88 ^a	693.41 ^c	15.15 ^a	172.08 ^a
1Y-MO-F	95.15 ^a	1243.23 ^b	11.77 ^a	82.92 ^c
2Y-IN-L	24.68 ^b	2601.09 ^a	16.81 ^b	83.88 ^b
2Y-IN-S	12.63 ^b	995.64 ^c	21.55 ^a	125.24 ^a
2Y-IN-F	87.30 ^{ab}	1614.59 ^b	22.41 ^a	105.85 ^a
2Y-MO-L	76.02 ^{ab}	2286.53 ^a	11.87 ^c	46.83 ^c
2Y-MO-S	98.27 ^a	858.56 ^c	21.31 ^a	63.06 ^b
2Y-MO-F	92.38 ^a	1705.74 ^b	15.97 ^b	62.31 ^{bc}

注：同列不同小写字母表示处理间显著差异 ($P<0.05$)。

Note: The lowercase letters in the same column indicate significant difference among different treatment ($P<0.05$).

分别增加 12.70% (1Y) 和 23.64% (2Y)。

1Y-IN-S 的 Zn 含量显著低于 1Y-MO-S。1Y-IN-L 和 1Y-MO-L，1Y-IN-F 和 1Y-MO-F 之间 Zn 含量无显著差异。2Y-IN 五指毛桃植株 Zn 含量较 1Y-IN 增加 7.96%，其中 2Y-IN-L 的 Zn 含量比 1Y-IN-L 降低 26.41%，2Y-IN-S 的 Zn 含量比 1Y-IN-S 增加 18.00%，2Y-IN-F 的 Zn 含量比 1Y-IN-F 增加 47.79%。2Y-MO 五指毛桃植株 Zn 含量比 1Y-MO 降低 49.85%，其中 L、S 和 F 分别降低 47.00%、63.35% 和 24.86%。1Y-IN 五指毛桃植株平均含 Zn 量比 1Y-MO 降低 15.03%，2Y-IN 五指毛桃植株平均含 Zn 量比 2Y-MO 增加 82.91%。

3 讨论

生物量分配模式随环境条件改变的特性使植物可以更好地利用限制性资源维持自身的生长^[15-16]。本研究中，胶园林下间作五指毛桃植株叶生物量占比增加，茎秆和果实生物量占比降低，说明间作条件下五指毛桃植株优先将生物量分配至叶片，以保证有更多的光合产物，与其他作物的研究结果一致^[17-18]。两年生植株生物量普遍高于一年生，且随着总生物量增加，单作和林下间作五指毛桃植株茎秆生物量占比增加，而叶片生物量占比降低。本结果表明多年生五指毛桃植株在

生长过程中,需要不断强化支撑作用,从而确保植株机械稳定性,与其他作物的研究结果一致^[19]。间作五指毛桃两年生植株结实率显著增加,果实生物量占比较一年生增加 99.64%,和单作无显著差异,表明间作条件下两年生五指毛桃植株发育已趋于稳定,生存压力相对减轻,所以将生物量更多的分配到果实中,用于后代的繁衍。

本研究结果显示,五指毛桃植株矿质营养丰富,常量元素中钾含量最高,磷含量最低。五指毛桃叶片、茎秆和果实中钙磷比在 1.52~4.84 之间,参照动物饲料正常钙磷比^[20],均偏高,因此从钙、磷含量来看五指毛桃植株不适合单独饲喂。本研究所测定的 4 种微量元素中,锰含量最高,与其他热带牧草的研究结果一致^[21]。铜含量最低,依据牧草中微量元素的分级和评价指标^[22],五指毛桃植株中铁和铜含量中等,锰和锌含量为很高,可满足饲草动物日常微量元素所需。因此,五指毛桃植株矿质元素含量丰富,可以替代部分粗饲料,节约饲料成本,提高经济效益,延长五指毛桃生产的产业链。五指毛桃植株大多数矿质元素在叶片和果实中的浓度高于茎秆,因叶片和果实分别是植物的光合作用器官和养分储存器官,植物为满足自身生长需要将体内大量养分传递给叶片和果实,与其他作物的研究结果一致^[23]。

合理间作可以提高作物养分利用效率,显著改善作物的矿质营养^[24]。本研究结果显示,胶园林下间作可以显著提高五指毛桃植株中 N、K、Mg、Cu 和 Zn 的总含量,降低 Ca 和 Fe 的总含量。N 可促进植株生长和光合作用,Mg 是叶绿素合成的必需元素,而 K 和 Zn 能够促进叶绿素的合成,促进光合作用。这种矿质元素含量的提高可能与林下光环境的改变有关。在橡胶林下弱光环境种植,五指毛桃通过提高植株对参与光合相关矿质元素的吸收,延缓植株衰老,使其叶片保持较高的光合作用。Cu 可以催化果实内部蛋白质和碳水化合物化合物的形成,间作五指毛桃两年生植株果实生物量大增,植株对 Cu 的吸收能力增加,使其 Cu 含量高于单作。

多年生植物矿质元素含量随着生长时间延长表现各异,党参和桔梗中的 K、Cu 含量随着生长年限的延长逐渐降低,Ca、Fe 含量随着生长年限的延长逐渐增加^[25-26]。蓝莓多年生茎的铜含量显著高于一年生茎秆,其余各元素均有所降低^[27]。本研究结果显示,林下间作和单作两年生五指毛

桃植株 N、P、K、Mg、Fe、Mn、Cu 含量均显著高于一年生,Zn 含量低于一年生。五指毛桃作为多年生植物,矿质营养随植株发育呈累计增加趋势。本研究中两年生植株 Zn 含量显著低于一年生,其原因还有待进一步研究。

4 结论

五指毛桃植株矿质营养丰富,叶片和果实矿质元素含量高于茎秆,林下种植可以提高植株 N、K、Mg、Cu 和 Zn 的总含量,降低 Ca 和 Fe 的总含量。从矿质营养组成看,五指毛桃植株不适合单独饲喂,可作为饲料添加剂替代部分粗饲料,节约饲料成本。

参考文献

- [1] YANG L, JIANG Y, ZHANG Z, HOU J, LIU Y. The anti-diabetic activity of licorice, a widely used Chinese herb[J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2020, 263: 113216.
- [2] 杨杰, 卫东锋, 王文潇, 程卫东. 五指毛桃水提物对免疫抑制小鼠细胞免疫的影响[J]. *中药药理与临床*, 2015, 31(6): 111-114.
YANG J, WEI D F, WANG W X, CHENG W D. Effects of aqueous extract of *Ficus hirta* on cellular immunity in immunosuppressed mice[J]. *Pharmacology and Clinics of Chinese Materia Medica*, 2015, 31(6): 111-114. (in Chinese)
- [3] 杨思霞. 五指毛桃多糖对 HepG2 细胞凋亡影响及机制研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2019.
YANG S X. Research of *Radix ficis* Hirtae polysaccharides apoptotic effects and mechanism on HepG2 cells[D]. Guangzhou: Southern Medical University, 2019. (in Chinese)
- [4] 王敏, 何蓉蓉, 李怡芳, 韩方璇, 覃业语, 栗原博. 五指毛桃水提物对拘束应激性肝损伤的保护作用[J]. *中国医院药学杂志*, 2015, 5(6): 522-525.
WANG M, HE R R, LI Y F, HAN F X, QIN Y Y, LI Y B. Protective effects of *Radix ficis* Hirtae extracts against liver injury induced by restraint stress[J]. *Chinese Journal of Hospital Pharmacy*, 2015, 5(6): 522-525. (in Chinese)
- [5] YANG Y, ZHENG K, MEI W J, WANG Y D. Anti-inflammatory and proresolution activities of bergapten isolated from the roots of *Ficus hirta* in an *in vivo* zebra fish model[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2018, 496(2): 763-769.
- [6] YE X S, TIAN W J, WANG G H, ZHANG X, ZHOU M, ZENG D Q, LIU X Z, YAO X S, ZHANG Y W, CHEN H F. Phenolic glycosides from the roots of *Ficus hirta* Vahl. and their antineuroinflammatory activities[J]. *Journal of Agri-*

- cultural and Food Chemistry, 2020, 68(14): 4196-4204.
- [7] 任运涛, 韩炳宏, 张宝林, 赵慧林, 傅华林, 牛得草. 阿拉善荒漠植物叶片矿质元素含量的季节变化[J]. 中国沙漠, 2016, 36(2): 383-391.
REN Y T, HAN B H, ZHANG B L, ZHAO H L, FU H L, NIU D C. Seasonal variations of leaf mineral elements of nine desert plants in the Alxa desert[J]. Journal of Desert Research, 2016, 36(2): 383-391. (in Chinese)
- [8] 杨习江, 杨昌福, 蒋学乾, 张帆, 何飞, 杨青川, 康俊梅. 紫花苜蓿粗灰分与矿质元素含量 QTL 定位分析[J]. 草地学报, 2022, 30(2): 312-319.
YANG X J, YANG C F, JIANG X Q, ZHANG F, HE F, YANG Q C, KANG J M. QTL analysis of ash and mineral elements in *Alfalfa*[J]. Acta Agrestia Sinica, 2022, 30(2): 312-319. (in Chinese)
- [9] 付东海, 马武, 成述儒, 马晓明, 褚敏, 姚喜喜, 郭宪, 阎萍, 梁春年. 甘南地区土壤-牧草-牦牛系统部分微量元素的季节变化和盈缺分析[J]. 中国草食动物科学, 2020, 40(6): 18-23.
FU D H, MA W, CHENG S R, MA X M, CHU M, YAO X X, GUO X, YAN P, LIANG C N. Analysis of seasonal variations and surplus and shortage of partial trace elements in the soil-forage-yak system in Gannan region[J]. China Herbivore Science, 2020, 40(6): 18-23. (in Chinese)
- [10] 李娟, 林位夫, 周立军. 打顶对橡胶树//五指毛桃间作系统中五指毛桃生理特性、产量及养分积累的影响[J]. 云南农业大学学报(自然科学版), 2016, 31(6): 1038-1044.
LI J, LIN W F, ZHOU L J. Effects of topping on physiological characteristics, yield and nutrient accumulation of wuzhimaotao (*Ficus hirta* Vahl.) in the rubber tree//*F. hirta* intercropping system[J]. Journal of Yunnan Agriculture University (Natural Science Edition), 2016, 31(6): 1038-1044. (in Chinese)
- [11] 洪维, 郑妍, 张干荣, 黄碧金, 曾昭佳. 碳汇林套种五指毛桃的林下经济经营模式研究——以广东省九连山林场五指毛桃特色经济林基地为例[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(3): 100-104.
HONG W, ZHENG Y, ZHANG G R, HUANG B J, ZENG Z J. Study on understory economic model of interplanting *Ficus hirta* in carbon sink forest—taking *Ficus hirta* characteristic economic forest in jiulianshan forest farm of guangdong province as an example[J]. Forestry and Environmental Science, 2020, 36(3): 100-104. (in Chinese)
- [12] ZHANG L X, GUO Q S, CHANG Q S, ZHU Z B, LIU L, CHEN Y H. Chloroplast ultrastructure, photosynthesis and accumulation of secondary metabolites in *Glechoma longituba* in response to irradiance[J]. Photosynthetica, 2015, 53(1): 144-153.
- [13] MATSOUKIS A, GASPARATOS D, CHRONOPOULOU S A. Mepiquat chloride and shading effects on specific leaf area and K, P, Ca, Fe and Mn content of *Lantana camara* L.[J]. Emirates Journal of Food & Agriculture, 2015, 27(1): 121-125.
- [14] 袁淑娜, 潘剑, 黄坚雄, 郑定华, 涂寒奇, 周立军. 胶园林下间作对玫瑰茄产量和品质的影响[J]. 西南农业学报, 2019, 32(9): 2008-2013.
YUAN S N, PAN J, HUANG J X, ZHENG D H, TU H Q, ZHOU L J. Yield and quality performance of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) intercropped in rubber plantation with paired row planting system[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2019, 32(9): 2008-2013. (in Chinese)
- [15] 陈乾, 黄霞, 江登辉, 任可, 荣俊冬, 陈礼光, 郑郁善. 遮荫对福建柏苗期生长及生物量的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版), 2020, 49(6): 796-802.
CHEN Q, HUANG X, JIANG D H, REN K, RONG J D, CHEN L G, ZHENG Y S. Effect of shading on growth and biomass of *Fokienia hodginsii* seedlings[J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University (Natural Science Edition), 2020, 49(6): 796-802. (in Chinese)
- [16] 谢瑞娟, 张小晶, 刘金平, 游明鸿, 郭海燕. 干旱和遮阴对苎草构件形态及生物量分配的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(7): 1496-1505.
XIE R J, ZHANG X J, LIU J P, YOU M H, GUO H Y. Synergistic effects of drought and shade on component morphology and biomass allocation of *Arthraxon hispidus*[J]. Pratacultural Science, 2017, 34(7): 1496-1505. (in Chinese)
- [17] 徐飞, 郭卫华, 徐伟红, 王仁卿. 不同光环境对麻栎和刺槐幼苗生长和光合特征的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3098-3107.
XU F, GUO W H, XU W H, WANG R Q. Effects of light intensity on growth and photosynthesis of seedlings of *Quercus acutissima* and *Robinia pseudoacacia*[J]. Acta Ecologica Sinica. 2010, 30(12): 3098-3107. (in Chinese)
- [18] 薛晴, 陈斌, 杨小梅, 杨宇佳, 李子葳, 薄杉, 何森. 不同光强下 4 种鸭跖草科植物的生物量分配、水分生理及光响应特征[J]. 草业学报, 2022, 31(1): 69-80.
XUE Q, CHEN B, YANG X M, YANG Y J, LI Z W, BO S, HE M. Biomass allocation, water use characteristics, and photosynthetic light response of four Commelinaceae plants under different light intensities[J]. Acta Prataculturae Sinica. 2022, 31(1): 69-80. (in Chinese)
- [19] 孙迎涛, 岳艳鹏, 成龙, 庞营军, 赵河聚, 费兵强, 修晓敏, 吴波, 赵雨兴, 石麟, 何金军, 贾晓红. 毛乌素沙地油蒿 (*Artemisia ordosica*) 生长及生物量分配对沙漠化的响应[J]. 中国沙漠, 2022, 42(1): 123-133.
SUN Y T, XUE Y P, CHENG L, PANG Y J, ZHAO H J,

- FEI B Q, XIU X M, WU B, ZHAO Y X, SHI L, HE J J, JIA X H. Responses of growth and biomass allocation of *Artemisia ordosica* to desertification in Mu Us Sandyland[J]. *Journal of Desert Research*, 2022, 42(1): 123-133. (in Chinese)
- [20] 杨凤. 动物营养学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
YANG F. *Animal Nutrition*[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006. (in Chinese)
- [21] 周汉林, 王东劲, 李琼, 唐军. 海南省不同地区几种热带牧草微量元素含量[J]. *家畜生态学报*, 2008, 29(2): 78-80.
ZHOU H L, WANG D J, LI Q, TANG J. Contents of trace elements in several tropical forages in different areas of hainan province[J]. *Acta Ecologiae Animalis Domastici*, 2008, 29(2): 78-80. (in Chinese)
- [22] 付华, 周志宇, 庄光辉. 阿拉善荒漠草地类微量元素含量特征的研究[J]. *中国沙漠*, 2000, 20(4): 426-429.
FU H, ZHOU Z Y, ZHUANG G H. Study on characteristic of trace element content in desert grassland of alxa[J]. *Journal of Desert Research*, 2000, 20(4): 426-429. (in Chinese)
- [23] 李方文, 周子军, 刘晓莉, 秦鱼生, 曾心美, 石小庆, 杨苑钊. 木芙蓉营养生长旺期主要矿质元素的吸收与分布特征[J]. *中国土壤与肥料*, 2021, (1): 256-261.
LI F W, ZHOU Z J, LIU X L, QIN Y S, ZENG X M, SHI X Q, YANG Y Z. Absorption and distribution of several mineral elements in *Hibiscus mutabilis* plants at vegetative growth phase[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2021, (1): 256-261. (in Chinese)
- [24] 肖力力, 田山君, 田双燕, 罗蓉, 李永鹏, 曹国璠. 玉米与马铃薯间作对马铃薯干物质积累与养分吸收、分配的影响[J]. *中国马铃薯*, 2021, 35(6): 520-528.
XIAO L L, TIAN S J, TIAN S Y, LUO R, LI Y P, CAO G F. Effects of maize and potato intercropping on dry matter accumulation, nutrient absorption and distribution of potato[J]. *Chinese Potato Journal*, 2021, 35(6): 520-528. (in Chinese)
- [25] 陈松树, 赵致, 王华磊, 刘红昌, 罗春丽, 李金玲, 罗夫来, 黄明进, 李龙进, 蒙万虎. 不同生长年限的贵州党参质量和矿质元素分析[J]. *时珍国医国药*, 2020, 31(6): 1461-1463.
CHEN S S, ZHAO Z, WANG H L, LIU H C, LUO C L, LI J L, LUO F L, HUANG M J, LI L J, MENG W H. Analysis of the quality and mineral elements of *Codonopsis tubulosa* with different growth years[J]. *Li Shizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2020, 31(6): 1461-1463. (in Chinese)
- [26] 仇劲, 李国清, 毕研文, 陈宝芳, 刘政波, 韩金龙, 王志芬. 中药材桔梗中常量元素和微量元素含量分析[J]. *农学学报*, 2017, 7(7): 43-46.
ZHANG J, LI G Q, BI Y W, CHEN B F, LIU Z B, HAN J L, WANG Z F. Contents of macroelements and trace elements in medicinal plant *platycodon grandiflorum*[J]. *Journal of Agriculture*, 2017, 7(7): 43-46.
- [27] 唐少勋. 蓝莓不同构件生物量及矿质元素的季节动态[D]. 长春: 吉林农业大学, 2012.
TANG S X. The seasonal dynamic of biomass and mineral elements in different components of *Vaccinium spp*[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2012. (in Chinese)