

刘伟, 罗玲, 钟奇, 江国良, 潘宏兵, 杜邦, 李贵利. 生草和地布覆盖对攀枝花地区芒果园土壤性质及果实品质的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2021, 27 (2): 261-270

Liu W, Luo L, Zhong Q, Jiang GL, Pan HB, Du B, Li GL. Effects of grass planting and ground fabric mulching on soil properties and fruit quality in mango orchards in Panzhihua, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2021, 27 (2): 261-270

生草和地布覆盖对攀枝花地区芒果园土壤性质及果实品质的影响

刘伟¹✉ 罗玲¹ 钟奇¹ 江国良¹ 潘宏兵² 杜邦² 李贵利²

¹四川省农业科学院园艺研究所 成都 610066

²攀枝花市农林科学研究院 攀枝花 617061

摘要 为向半干旱区芒果园土壤管理制度的制定提供理论依据,以攀枝花‘凯特’芒果园为研究对象,设置紫云英生草刈割覆盖模式(雨季生草、旱季刈割覆盖)和地布覆盖模式2个处理,以清耕为对照(CK),于覆盖后第2年测定0-60 cm土壤pH、容重、孔隙度、含水量、持水量、贮水量、入渗速率与有机质、速效养分等性状,分析两种地面覆盖模式对芒果叶片叶绿素含量、比叶重及果实品质、产量的影响。结果表明:(1)两种覆盖模式均降低了芒果园土壤pH值、提高土壤水分含量及毛管孔隙度,紫云英生草刈割覆盖还提高了土壤非毛管孔隙度及土壤通气度、降低容重,影响主要集中在0-40 cm土层。(2)两种覆盖模式均提高了土壤持水量及贮水量,紫云英生草刈割覆盖优于地布覆盖,0-60 cm土壤最大、毛管、非毛管、田间持水量及吸持贮水量分别较清耕提高27.81%、31.65%、15.16%、10.38%、9.98%,且土壤合理灌溉定额较清耕降低3.80 mm。(3)紫云英生草刈割覆盖区0-60 cm土壤初渗速率、平均渗透速率、稳渗速率和渗透系数较清耕提高18.87%-36.86%,而地布覆盖区土壤入渗性能则无明显提高。(4)地布覆盖区土壤有机质、碱解氮含量与清耕无明显差异,而土壤有效磷、速效钾含量分别较清耕提高31.84%、14.43%;紫云英生草刈割覆盖区土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量分别较清耕提高74.48%、56.60%、84.20%、21.59%。(5)两种地面覆盖模式均提高了芒果叶片叶绿素含量及比叶重,提高了芒果果实可溶性固形物含量及固酸比,紫云英生草刈割覆盖模式还降低了芒果可滴定酸含量、提高了芒果单果重。可见,两种地面覆盖模式在改善土壤理化性质、提高土壤蓄水保墒能力、增强土壤肥力、提高果实品质方面均有良效,攀枝花半干旱区芒果园采用紫云英生草刈割覆盖模式效果更佳。(图3 表3 参49)

关键词 地面覆盖;生草;地布;土壤水文;土壤养分;芒果园;金沙江干热河谷

Effects of grass planting and ground fabric mulching on soil properties and fruit quality in mango orchards in Panzhihua, China

LIU Wei¹✉, LUO Ling¹, ZHONG Qi¹, JIANG Guoliang¹, PAN Hongbing², DU Bang² & LI Guili²

¹Horticulture Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China

²Panzhihua Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Panzhihua 617061, China

Abstract This study aimed to explore the effects of ground fabric and milk vetch grass mulching modes on soil physicochemical properties and the yield and quality of mango in Panzhihua, and to provide a theoretical basis for the formulation of soil management systems of mango orchards in semi-arid regions. The experiment was conducted in a ‘Keitt’ mango orchard in Panzhihua with three treatments: ground fabric mulching, milk vetch grass mulching (planting grass in the rainy season, mowing and covering the grasses in the dry season), and clean tillage (CK). In the second year after mulching, the soil pH, bulk density, porosity, water content, water-holding capacity, water-storage capacity, permeability, organic matter, and available nutrients in 0–60 cm soil were measured, and the effects of the two soil surface mulching modes on chlorophyll content, specific leaf weight, fruit quality, and yield of mango were analyzed. The results showed that: (1) the two mulching modes decreased soil pH value and increased soil capillary porosity and water content, whereas the milk vetch grass mulching mode alone decreased soil bulk density, increased soil non-capillary porosity and aeration, and significantly improved the physical structure of soil, especially in the 0–40 cm soil layer. (2) The two mulching modes increased the soil water holding and water storage capacity, and the milk vetch grass mulching mode was better than the ground fabric mulching mode. The maximum water-holding capacity, capillary water-holding capacity, non-capillary water-holding capacity, field water-holding capacity, and soil absorbed water content in 0–60 cm grass treatment soil increased by 27.81%, 31.65%, 15.16%, 10.38, and 9.98% compared to CK,

收稿日期 Received: 2020-01-23 接受日期 Accepted: 2021-03-13

国家重点研发计划项目(2017YFC0505103)资助 Supported by the National Key R&D Program of China (2017YFC0505103)

✉通信作者 Corresponding author (E-mail: lwei05@126.com)

respectively, and the reasonable irrigation quota decreased by 3.80 mm. (3) The soil initial permeability rate, steady permeability rate, average permeability rate, and permeability coefficient in 0–60 cm grass treatment soil increased by 18.87%–36.86% compared to CK, but soil infiltration capability in ground fabric treatment was not significantly improved. (4) There was no significant difference in soil organic matter and available N content between ground fabric treatment and CK, but the available P and K content in the ground fabric treatment increased by 31.84% and 14.43%, respectively, and the soil organic matter and available N, P, and K contents in the grass treatment increased by 74.48%, 56.60%, 84.20%, and 21.59% compared to CK, respectively. (5) The two mulching modes increased the chlorophyll content and specific leaf weight of mango leaves and increased the soluble solid content and the ratio of soluble substances and acids in mango fruit. The milk vetch grass mulching mode also reduced the titratable acid content of mango fruit and increased the single fruit weight. It can be seen that the two mulching modes can improve soil physicochemical properties and moisture retention, enhance soil fertility, and improve the quality of mango fruit. We therefore recommend the adoption of the milk vetch grass mulching mode in the Panzhuhua mango orchard.

Keywords soil surface mulching; grass planting; ground fabric; soil hydraulic; soil nutrient; mango orchard; dry-hot valley of the Jinsha River

攀枝花是金沙江干热河谷地带重要的芒果产区,当地的‘凯特’芒在全国成熟期最晚。攀枝花大多数芒果园地处丘陵区,地表径流严重,土壤保水保肥性能差,加之果园土壤管理制度长期以来多采用清耕制,造成果园地表裸露、土壤结构破坏、土壤养分不均衡等一系列土壤退化问题,影响果树生长发育及经济效益的提高^[1-3]。另外攀枝花旱季、雨季分明,旱季从11月到翌年6月,水资源极其匮乏,而此阶段正值芒果花芽分化、开花授粉及幼果发育,缺水将严重影响芒果果实生长发育。

地面覆盖技术具有改良土壤结构、蓄水保墒、培肥地力、减少水土流失、调节微域生态系统环境等生态功能,现已成为世界上许多国家和地区广泛采用的土壤管理调控技术之一^[4]。果园生草可提高土壤有机质含量,增强土壤肥力,提高土壤酶活性和微生物数量^[2, 5-7],而且还可以改善果园的微域生态环境,抑制杂草,减少果园病虫害发生率^[8-10],在促进果园树体生长及果实产量品质提高方面也有积极作用^[3, 11]。地布覆盖具有改善土壤物理性质,防止水土流失,提高土壤持水性能的优势^[12-16]。因此,将果园生草覆盖及地布覆盖引入到攀枝花芒果园土壤管理中,提高土壤持水贮水能力,增加芒果产量,改善芒果品质,实现节水增效,对促进攀枝花芒果产业可持续发展具有重要意义。

近年来国内果园地面覆盖效果研究主要集中在猕猴桃、葡萄、苹果等果园中,而关于半干旱区芒果园实行果园生草及地布覆盖等土壤管理措施的研究报道则较少。因此,我们拟通过田间试验系统研究攀枝花芒果园生草及地布覆盖对土壤pH、持水贮水和入渗性能、土壤养分及芒果树体生长与果实品质产量的影响,揭示不同材料的覆盖效果,为攀枝花芒果园土壤管理制度的制定提供理论和实践参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在攀枝花市农林科学研究院芒果示范基地(26°47'N, 101°75'E, 海拔1 519 m)内进行。该区属南亚热带半干旱季风气候,区内光热资源丰富,全年日照时数达2 300–2 700 h,年均气温19.2–22.1 °C,≥ 10 °C的积温为6 638–7 358 °C,无霜期287.6–301 d。年均降雨量826.2 mm,分干、雨两季,降水量

高度集中在雨季(6–10月),占全年降雨量的85%以上,年平均蒸发量大于2 400 mm^[17]。

试验树为8年生晚熟‘凯特’芒,株行距为4 m × 5 m,芒果树为盛产期,生长健壮,树势中庸。试验地为台地,土壤为黄红壤,试验前芒果园土壤管理制度采取清耕,灌水方式为微喷灌溉。试验地布选用90 g/m²的聚丙烯黑色地布。试验草种为紫云英(*Astragalus sinicus* L.),又名红花草,为豆科黄耆属越年生或1年生草本植物,能改良土壤团粒结构和土壤理化性质,增加土壤肥力^[18]。

1.2 试验设计

共设3个处理:(1)地布覆盖模式;(2)紫云英生草刈割覆盖模式(雨季生草覆盖,旱季刈割覆盖);(3)清耕对照(CK)。设置3个重复,共9个小区,小区面积300 m²,随机区组布设。考虑到攀枝花旱季降水极少,旱季果园生草必须进行额外灌水,因此将果园生草模式定为雨季生草覆盖、旱季刈割覆盖模式。于2018年5月上旬布置试验,紫云英的播种量为37.5 kg/hm²,全园撒播,于每年7月中下旬、11月中旬各刈割1次,7月中下旬留茬30 cm左右刈割,刈割下的草长约20 cm,覆盖于树盘(离主干10 cm),覆盖厚度约10–15 cm;11月中旬留茬10 cm左右刈割,刈割下的草长约30 cm,先置于果园外,刈割后在果树行间进行翻耕,翻耕深度20–25 cm,翻耕后用刈割下的草覆盖全园,覆盖厚度约10–15 cm。园艺地布覆盖方式为芒果树主干两侧沿行向各覆盖2 m宽黑色地布,行间地布未覆盖区清耕。清耕处理是人工将果园杂草除尽,无任何覆盖;园艺地布覆盖与清耕处理也于每年11月中旬同时进行果树行间翻耕,翻耕深度同生草处理。果园其他田间常规管理措施一致,2019年和2020年进行相同处理。

1.3 样品采集

土壤样品于2019年5月上旬采集,每个小区按“S”形布设5个点,分布于距芒果树主干约1.2 m处的两侧行间,用土钻取0–60 cm土样,按20 cm一层等距采集土样,用于测定土壤含水量。2020年5月上旬以2019年同样方式采集土样测定土壤含水量,同时将剩余的土壤分层混合均匀,用四分法收集1 kg左右的样品,除去砾石、草根等杂物带回实验室风干,用于测定土壤养分;另外各小区在芒果树行间离主干1.2 m处挖取土壤剖面3个,按20 cm等距离划分土壤层次,用环刀(200 cm³)分别于0–20、20–40、40–60 cm土层深度分别采集2个土

样,用于土壤pH、土壤水文物理性质及土壤渗透性的测定。

芒果叶片于2020年10月采集,每小区选择30片末次梢健康的功能叶,其中10片用于叶片叶绿素含量测定,20片用于比叶重测定。于芒果成熟时统计单株产量,同时每个小区随机选择3-4株树、于不同方向共采集正常果10个,用于测定果实品质。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 土壤pH及水文物理性质测定 土壤pH采用1:2.5土液比水提,酸度计测定(梅特勒S220-K-CN酸度计,上海)^[19];土壤水分含量采用烘干法测定^[19]。土壤容重、(毛管、非毛管、总)孔隙度、通气度、(最大、毛管、非毛管、田间)持水量、合理灌溉定额等各项水文物理参数参照标准LY/T 1215-1999采用环刀浸水法测定^[20]。土壤吸持贮水量、滞留贮水量和饱和贮水量参照以下公式计算^[8,21]。

$$W_c = 1000 \times P_c \times h$$
$$W_o = 1000 \times P_o \times h$$
$$W_t = 1000 \times P_t \times h$$

式中: W_c 、 W_o 、 W_t 分别为土壤吸持贮水量、滞留贮存量和饱和和贮水量(mm); P_c 、 P_o 、 P_t 分别为毛管孔隙度、非毛管孔隙度和总孔隙度(%); h 为土层深度(m)。

1.4.2 土壤水分入渗性能测定 参照标准LY/T 1218-1999采用双环刀法测定水分在土壤中的初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率和渗透系数^[22-23]。入渗试验环刀容积200 cm³,高5.1 cm,取原状土后带回室内浸水24 h,浸水深度4.9 cm。入渗试验时环刀内土层厚度为4.9 mm,初渗速率为渗水试验开始5 min内的入渗速率平均值,渗透系数换算成10℃时的稳定入渗系数。

$$K_{10} = K_t / (0.7 + 0.03t)$$

式中: K_{10} 为水温10℃时的稳定入渗系数(mm/min), K_t 为水温 t ℃时的稳定入渗系数(mm/min), t 为入渗测定时的水温(℃)。

1.4.3 土壤养分测定 采用重铬酸钾容量法测定土壤有机质,碱解扩散法测定碱解氮,碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定有效磷,乙酸铵浸提—火焰光度法测定速效钾^[19]。

1.4.4 芒果叶片叶绿素含量、比叶重、果实品质测定 叶片叶绿素含量测定采用乙醇丙酮混合液浸提法测定^[24];比叶重=叶干重/叶面积,叶面积的测定参照苑克俊的方法^[25]。单果重采用ACS系列电子计价称称量,可溶性固形物含量采

用2812袖珍式数字折射计测定,可滴定酸含量采用滴定法测定^[26],抗坏血酸(VC)含量采用2,6-二氯酚酚滴定法测定^[27]。

1.5 数据处理

采用Excel 2010软件对数据进行整理,统计分析在SPSS 19.0中进行,采用Duncan法进行多重比较,显著水平为 $\alpha = 0.05$ 。绘图在SigmaPlot 14.0中进行,表中数据为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 生草和地布覆盖对芒果园土壤pH、容重及孔隙度的影响

由表1可知,覆盖和清耕处理土壤pH及容重随土层深度增加而呈总体上升趋势。两种覆盖模式均能显著($P < 0.05$)降低0-20 cm、20-40 cm土壤pH,但对40-60 cm土壤pH无显著影响($P > 0.05$),其中紫云英生草刈割覆盖区土壤pH值最低,0-20 cm、20-40 cm土壤pH分别较清耕降低0.79、0.69。另外紫云英生草刈割覆盖区0-60 cm各土层土壤容重均显著低于清耕,其0-60 cm土壤平均容重较清耕降低15.87%,而地布覆盖区土壤容重与清耕无显著差异。

同土壤pH和容重相反,各处理土壤孔隙度随土层深度增加而降低,且同土层土壤非毛管孔隙度始终小于毛管孔隙度,表明地布覆盖和紫云英生草刈割覆盖未改变土壤孔隙度的基本状态。地布覆盖可显著提高0-20 cm、20-40 cm土壤毛管孔隙度和总孔隙度,但对40-60 cm土壤毛管孔隙度和总孔隙度无显著影响,同时地布覆盖对各土层非毛管孔隙度与也无显著影响。而紫云英生草刈割覆盖不仅可显著提高0-20 cm、20-40 cm土壤毛管孔隙度,也可提高40-60 cm土壤毛管孔隙度以及0-20 cm土壤非毛管孔隙度,其0-20 cm、20-40 cm土壤总孔隙度也显著高于清耕。对于两种覆盖模式,紫云英生草刈割覆盖区0-60 cm土壤平均毛管孔隙度及非毛管孔隙度均显著高于地布覆盖区,分别较地布覆盖区提高3.02%、6.51%。在土壤通气度表现上,地布覆盖区与清耕无显著差异,而生草刈割覆盖区0-20 cm土壤通气度较清耕显著提高30.04%,而40-60 cm土层差异不显著。

上述表明,地布覆盖和紫云英生草刈割覆盖均可有效降低试验区碱性土壤pH、增加土壤毛管孔隙度和总孔隙度,其中紫云英生草刈割覆盖区还可明显降低试验区土壤容重、增

表1 生草和地布覆盖对芒果园土壤pH、容重和孔隙度的影响

Table 1 Effects of grass planting and ground fabric mulching on soil pH, bulk density and porosity in the mango orchard

处理 Treatment	土层深度 Depth of soil layer (δ/cm)	土壤pH值 Soil pH value	土壤容重 Soil bulk density (ρ/g cm ⁻³)	土壤孔隙度 Soil porosity (P/%)			毛管/非毛管比 Ratio of capillary and non-capillary	土壤通气度 Soil aeration
				毛管孔隙度 Capillary porosity	非毛管孔隙度 Non-capillary porosity	总孔隙度 Total porosity		
地布 Ground cloth	0-20	8.03 ± 0.03b	1.42 ± 0.12a	38.33 ± 0.91b	10.93 ± 0.54b	49.26 ± 0.65b	3.52 ± 0.26a	25.83 ± 2.78ab
	20-40	8.42 ± 0.01b	1.47 ± 0.07ab	38.05 ± 0.94a	10.02 ± 0.60a	48.07 ± 0.44a	3.81 ± 0.32a	24.77 ± 1.32a
	40-60	8.53 ± 0.13a	1.51 ± 0.11ab	34.13 ± 1.25ab	9.23 ± 0.28a	43.36 ± 1.41a	3.70 ± 0.12a	20.40 ± 2.84b
	均值 Average value	8.33 ± 0.04a	1.47 ± 0.10a	36.84 ± 0.54b	10.06 ± 0.25b	46.90 ± 0.89a	3.67 ± 0.06a	23.67 ± 1.61ab
紫云英 <i>Astragalus sinicus</i>	0-20	7.51 ± 0.04c	1.22 ± 0.07b	40.48 ± 0.62a	12.24 ± 0.25a	52.72 ± 0.96a	3.31 ± 0.06a	31.21 ± 2.45a
	20-40	7.83 ± 0.09c	1.29 ± 0.13b	38.07 ± 0.57a	10.86 ± 0.30a	48.93 ± 0.57a	3.51 ± 0.15a	27.65 ± 2.97a
	40-60	8.18 ± 0.08a	1.36 ± 0.11b	35.30 ± 1.07a	9.18 ± 0.38a	44.48 ± 1.45a	3.85 ± 0.04a	23.68 ± 2.22a
	均值 Average value	7.84 ± 0.06b	1.29 ± 0.07b	37.95 ± 0.32a	10.76 ± 0.22a	48.71 ± 1.05a	3.55 ± 0.08a	27.51 ± 1.06a
清耕 Clean tillage, CK	0-20	8.30 ± 0.05a	1.50 ± 0.06a	35.17 ± 0.99c	11.25 ± 0.23b	46.42 ± 1.12c	3.13 ± 0.08b	24.00 ± 0.93b
	20-40	8.52 ± 0.05a	1.53 ± 0.07a	34.53 ± 1.28b	10.20 ± 0.39a	44.73 ± 0.64b	3.39 ± 0.12a	22.50 ± 2.49a
	40-60	8.34 ± 0.10a	1.57 ± 0.07a	33.82 ± 0.34b	9.95 ± 0.52a	43.77 ± 1.60a	3.40 ± 0.15b	20.94 ± 2.27ab
	均值 Average value	8.39 ± 0.05a	1.53 ± 0.07a	34.51 ± 0.47c	10.47 ± 0.32ab	44.97 ± 0.51b	3.30 ± 0.04b	22.48 ± 1.27b

3种处理同一土层进行比较, 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

The trait values of the same soil layers in three treatments were compared, and different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

加土壤非毛管孔隙度比及土壤通气度。两种覆盖模式对土壤的改善作用主要集中在0-40 cm的表层土壤,对40-60 cm土层的影响较弱。

2.2 生草和地布覆盖对芒果园土壤含水量的影响

图1所示为芒果园各土层2019年和2020年5月土壤含水量的平均值,即旱季芒果园土壤含水量。与清耕相比,两种覆盖模式均显著提高旱季0-60 cm土壤含水量,地布覆盖区提高7.99%,紫云英生草刈割覆盖区提高12.17%,两种覆盖模式均表现为0-40 cm土壤含水量与清耕差异明显,而40-60 cm土层则差异不显著。对于两种覆盖模式,紫云英生草刈割覆盖区0-20 cm土壤含水量较地布覆盖区显著提高6.92%,其余土层无显著差异。攀枝花旱季、雨季分明,雨季降水充足可满足芒果树生长发育需求,而旱季果园极其缺水,上述表明地布覆盖模式和紫云英生草刈割覆盖模式(雨季生草覆盖、旱季刈割覆盖)均能明显抑制旱季芒果园土壤水分蒸发,增加旱季芒果园土壤水分含量,且紫云英生草刈割覆盖优于地布覆盖。

2.3 生草和地布覆盖对芒果园土壤持水与贮水性能的影响

由表2可知,在土壤持水量方面,覆盖和清耕处理土壤

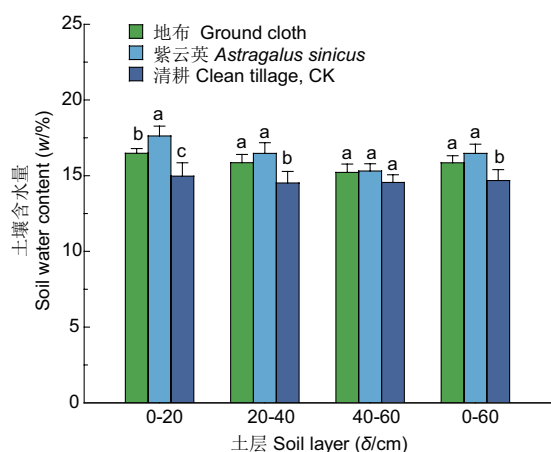


图1 生草和地布覆盖对芒果园土壤含水量的影响。

Fig. 1 Effects of grass planting and ground fabric mulching on soil water content in the mango orchard.

最大、毛管、非毛管、田间持水量均随土层加深而降低。两种覆盖模式均可提高0-60 cm土壤最大、毛管、非毛管、田间持水量的平均值,其中地布覆盖区分别较清耕提高11.00%、11.96%、7.82%、1.26%,紫云英生草刈割覆盖区分别提高27.81%、31.65%、15.16%、10.38%,除地布覆盖区田间持水量与清耕无显著差异外,其余指标均差异显著。在各土层土壤持水量表现上,地布覆盖区仅0-20 cm土壤最大持水量、0-40 cm土壤毛管持水量显著高于清耕;紫云英生草刈割覆盖区0-20 cm、20-40 cm土壤最大持水量和毛管持水量,0-20 cm土壤非毛管持水量与田间持水量显著高于清耕。表明两种覆盖模式均能提高芒果园土壤持水能力,紫云英生草刈割覆盖优于地布覆盖。

在土壤贮水量方面,两种覆盖模式0-60 cm土壤吸持贮水量、饱和贮水量的平均值均显著高于清耕,地布覆盖区分别较清耕增加6.75%、4.27%,紫云英生草刈割覆盖区则分别增加9.98%、8.30%,差异集中在0-20 cm、20-40 cm土层。另外紫云英生草刈割覆盖区0-20 cm土壤滞留贮水量较清耕显著提高8.80%。表明两种覆盖模式均能提高芒果园表层土壤贮水供水能力,紫云英生草刈割覆盖模式土壤供给植物有效水分的潜在能力及对降水的短期滞留能力高于地布覆盖。

对于0-60 cm土壤合理灌溉定额,地布覆盖区略低于清耕区,但无显著差异,而紫云英生草刈割覆盖区则较清耕显著降低7.34%,其中0-20 cm、40-60 cm土层差异显著。表明紫云英生草刈割覆盖能有效降低果园灌溉水量,节省灌溉用水,而地布覆盖无明显效果。

2.4 生草和地布覆盖对芒果园土壤入渗性能的影响

由图2可知,地布覆盖对土壤入渗性能影响较小,而紫云英生草刈割覆盖影响较大。除20-40 cm土壤渗透系数显著低于清耕外,地布覆盖区各土层土壤初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率和渗透系数均与清耕无显著差异,表明地布覆盖对芒果园土壤透水性性能无明显影响。紫云英生草刈割覆盖区0-60 cm土壤初渗速率、稳渗速率、平均渗透速率和渗透系数的平均值分别较清耕提高36.86%、18.87%、28.15%、18.87%,且差异显著,表明紫云英生草刈割覆盖能提高土壤

表2 生草和地布覆盖对芒果园土壤持水与贮水性能的影响

Table 2 Effects of grass planting and ground fabric mulching on water-holding capacity in the mango orchard

处理 Treatment	土层深度 Depth of soil layer (δ/cm)	土壤持水量 Soil water-holding capacity (P/%)				贮水量 Water-storage capacity (h/mm)				合理灌溉定额 Rational irrigation quota (h/mm)
		最大持水量 Maximum capacity	毛管持水量 Capillary capacity	非毛管持水量 Non-capillary capacity	田间持水量 Field capacity	吸持贮水量 Soil absorbed water content	滞留贮水量 Soil retained water content	饱和贮水量 Soil saturated water content		
地布 Ground cloth	0-20	35.83 ± 2.79a	27.16 ± 1.94b	8.67 ± 0.85ab	26.47 ± 2.95ab	76.66 ± 1.81b	21.86 ± 1.08b	98.52 ± 1.58b		22.69 ± 0.57a
	20-40	33.31 ± 1.17a	25.91 ± 1.04b	7.39 ± 0.15a	24.65 ± 1.20a	76.10 ± 1.87a	20.04 ± 1.20a	96.14 ± 2.68a		21.73 ± 1.05a
	40-60	28.76 ± 1.68a	22.66 ± 1.49ab	6.09 ± 0.37a	22.16 ± 0.88a	68.26 ± 2.51a	18.46 ± 0.56a	86.72 ± 1.95a		20.05 ± 1.12ab
	均值 Average value	32.63 ± 1.18b	25.25 ± 0.84b	7.38 ± 0.35a	24.43 ± 0.88b	73.67 ± 1.09b	20.12 ± 0.84a	93.79 ± 1.53b		21.49 ± 0.91ab
紫云英 Astragalus sinicus	0-20	42.22 ± 2.20a	33.23 ± 1.40a	8.99 ± 0.85a	29.32 ± 1.15a	80.96 ± 1.24a	24.48 ± 0.50a	105.44 ± 1.55a		21.49 ± 0.53b
	20-40	37.58 ± 4.47a	29.73 ± 2.66a	7.85 ± 1.26a	25.77 ± 2.55a	76.14 ± 1.13a	21.72 ± 0.60a	97.86 ± 1.72a		19.88 ± 1.31a
	40-60	32.91 ± 3.25a	26.09 ± 3.21a	6.82 ± 0.66a	24.79 ± 2.78a	70.60 ± 2.13a	18.36 ± 0.76a	88.96 ± 1.37a		20.35 ± 0.72b
	均值 Average value	37.57 ± 1.19a	29.68 ± 0.72a	7.89 ± 0.47a	26.63 ± 1.22a	75.90 ± 0.65a	21.52 ± 0.44a	97.42 ± 1.52a		20.58 ± 0.82b
清耕 Clean tillage, CK	0-20	30.99 ± 1.73b	23.48 ± 1.41c	7.51 ± 0.45b	24.85 ± 0.61b	70.34 ± 1.97c	22.50 ± 0.46b	92.84 ± 2.24c		22.37 ± 0.84ab
	20-40	29.29 ± 1.45b	22.60 ± 1.17c	6.68 ± 0.56a	24.53 ± 1.31a	69.06 ± 0.69c	20.40 ± 0.78a	89.46 ± 1.27b		22.56 ± 0.95a
	40-60	27.91 ± 1.84a	21.56 ± 0.92b	6.35 ± 0.55a	22.99 ± 0.96a	67.64 ± 2.56a	19.90 ± 1.04a	87.54 ± 3.21a		21.68 ± 0.56a
	均值 Average value	29.40 ± 0.22c	22.55 ± 0.22c	6.85 ± 0.05b	24.12 ± 0.99b	69.01 ± 0.94c	20.93 ± 0.17a	89.95 ± 1.03c		22.20 ± 0.78a

3种处理同一土层进行比较,同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

The trait values of the same soil layers in three treatments were compared, and different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

透水性能;在各土层表现上,生草区0-20 cm、20-40 cm土壤初渗速率、平均渗透速率及0-20 cm土壤稳渗速率、渗透系数与清耕差异显著,而40-60 cm土壤渗透性能与清耕无显著差异,表明生草刈割覆盖对不同土层的效应存在差异,对表层土壤影响较明显。

2.5 生草和地布覆盖对芒果园土壤养分含量的影响

图3为不同处理土壤有机质和速效N、P、K含量的表现情况。地布覆盖区各土层土壤有机质含量与清耕均无显著差异,而紫云英生草刈割覆盖则显著提高各层土壤有机质含量,其0-60 cm土壤有机质含量较清耕提高78.48%,较地布覆盖区提高65.18%。表明地布覆盖对芒果园土壤有机质含量无明显影响,而紫云英生草刈割覆盖对土壤的培肥效果较佳。

地布覆盖区0-60 cm土壤碱解氮含量与清耕无显著差异,而有效磷、速效钾含量分别较清耕显著增加31.84%、14.43%。生草刈割覆盖区各层土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量均高于清耕,其0-60 cm土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量分别较清耕提高56.60%、84.20%、21.59%,且差异显著。表明紫云英生草刈割覆盖对活化土壤速效N、P、K作用较强,而地布覆盖仅可有效活化土壤有效磷和速效钾。

2.6 生草和地布覆盖对芒果叶片及果实产量与品质的影响

从表3可知,与清耕相比,两种覆盖模式均明显提高芒果树叶片叶绿素含量及比叶重,其中地布覆盖区分别提高12.06%、8.16%,紫云英生草刈割覆盖区分别提高17.59%、

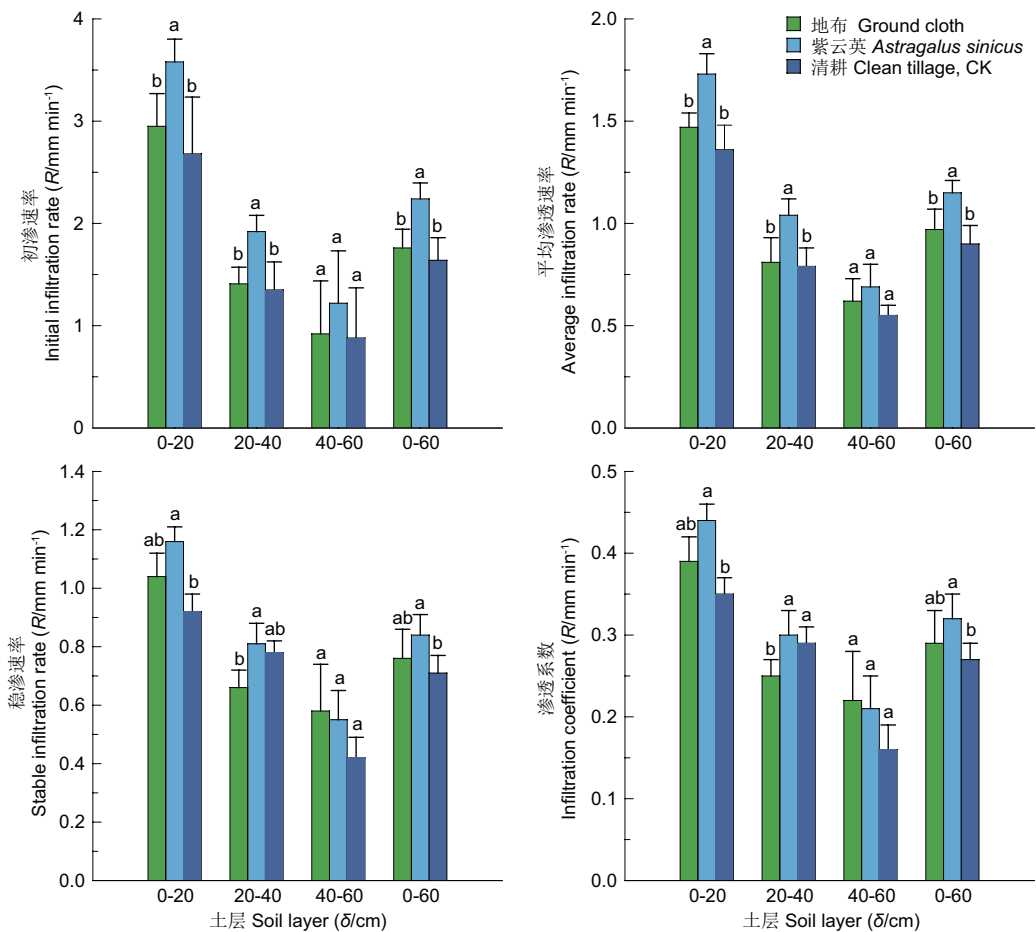


图2 生草和地布覆盖对芒果园土壤入渗性能的影响。
Fig. 2 Effects of grass planting and ground fabric mulching on soil permeability in the mango orchard.

表3 生草和地布覆盖对芒果叶片及果实产量与品质的影响
Table 3 Effects of grass planting and ground fabric mulching on leaves, fruit yield and quality of mango

处理 Treatment	叶绿素含量 Chlorophyll Content (w/mg g ⁻¹)	比叶重 Specific leaf weight (SLW/mg cm ⁻²)	单果重 Sing fruit weight (m/g)	可溶性固形物含量 Soluble solids content (w/%)	可滴定酸含量 Titratable acidity content (w/%)	固酸比 Solid-acid ratio	VC含量 VC content (w/mg (100 g) ⁻¹)	单株产量 Yield per plant (m/kg)
地布 Ground cloth	2.23 ± 0.15a	12.06 ± 0.09b	503.27 ± 39.34b	13.77 ± 0.64a	0.39 ± 0.04ab	35.50 ± 3.02b	19.77 ± 1.46a	35.85 ± 7.45a
紫云英 Astragalus sinicus	2.34 ± 0.11a	12.27 ± 0.11a	568.72 ± 20.47a	14.20 ± 0.62a	0.30 ± 0.07b	48.81 ± 9.58a	18.32 ± 1.15a	43.42 ± 4.89a
清耕 Clean tillage, CK	1.99 ± 0.08b	11.15 ± 0.08c	484.43 ± 29.78b	12.55 ± 0.53b	0.47 ± 0.06a	27.09 ± 4.62c	16.05 ± 2.59a	34.82 ± 5.42a

同列不同小写字母表示差异显著 (P < 0.05)。
Different lowercase letters in the same column indicate significant differences (P < 0.05).

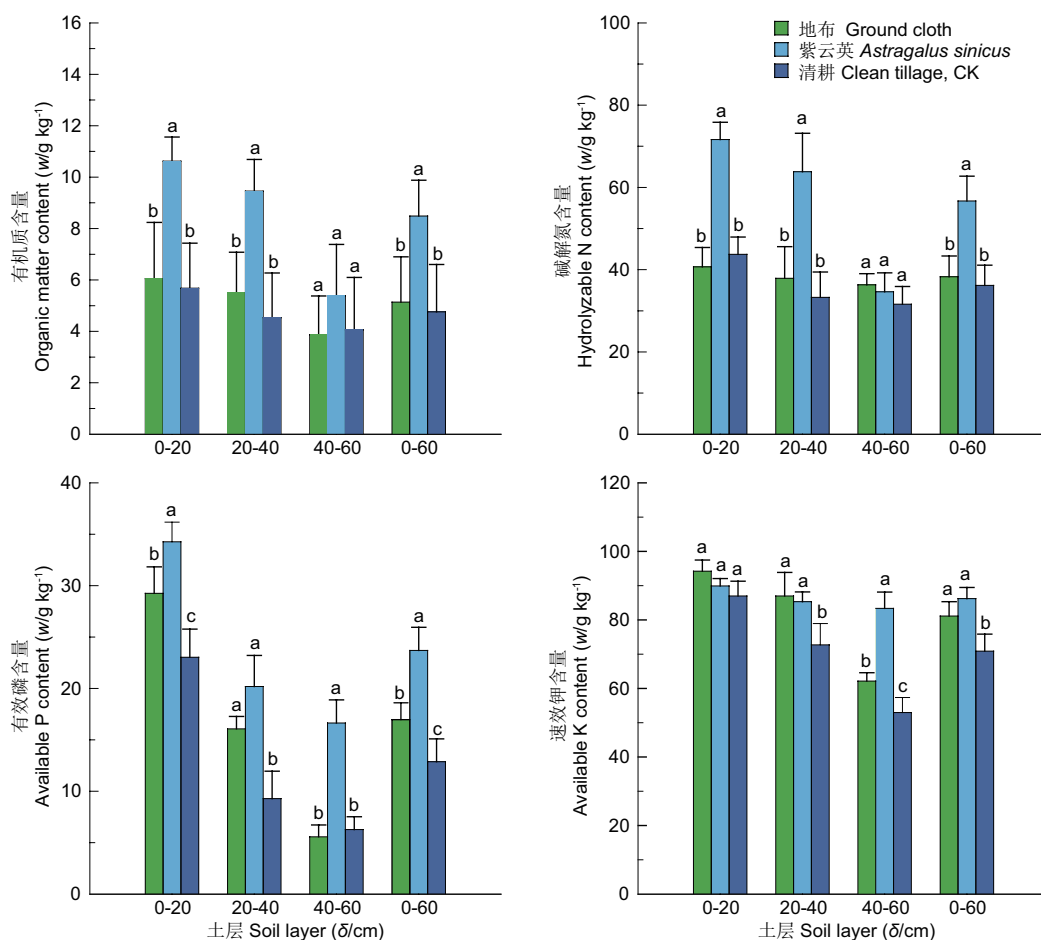


图3 生草和地布覆盖对芒果园土壤养分含量的影响。

Fig.3 Effects of grass planting and ground fabric mulching on soil nutrients in the mango orchard.

10.04%，且与清耕均有显著差异。对于果实内在品质，地布覆盖区芒果可溶性固形物含量提高9.72%，可滴定酸含量降低17.02%，固酸比提高31.01%，其中可溶性固形物含量与固酸比与清耕有显著差异；而生草刈割覆盖区芒果可溶性固形物含量提高13.15%，可滴定酸含量降低36.17%，固酸比提高80.15%，且与清耕均有显著差异。地布覆盖区芒果单果重及单株产量与清耕均无显著差异，而生草刈割覆盖区芒果单果重、单株产量分别较清耕增加17.40%、24.70%，其中单果重与清耕差异显著。紫云英生草刈割覆盖区芒果比叶重、单果重、固酸比均显著高于地布覆盖区，分别较地布覆盖区提高1.74%、13.00%、37.51%。表明两种覆盖模式均可明显提高芒果树叶片叶绿素含量及比叶重，提高芒果内在品质，紫云英生草刈割覆盖也可明显提高芒果单果重，但两种覆盖模式对芒果单株产量无显著影响，紫云英生草刈割覆盖模式优于地布覆盖。

3 讨论

3.1 生草和地布覆盖对芒果园土壤养分含量的影响

提高果实产量、品质必须首先提高土壤质量。土壤有机质是土壤肥力的物质基础，同时是影响土壤质地、紧实度、容重、孔隙度等的关键因子，有助于协调土壤水、肥、气、热状况。本研究中紫云英生草刈割覆盖区0-40 cm土壤有机质含量较清耕提高74.48%，而40-60 cm土壤有机质含量无明显增加。紫云英根系的分泌物以及刈割覆盖时草残体在土壤中

腐解将提高土壤有机质含量，且主要集中在耕作层。已有大量研究表明，果园行间种植豆科或禾本科牧草有利于提高土壤有机质含量^[2, 5, 11, 36]。关于地布覆盖对土壤有机质含量的研究，研究者普遍认为地布覆盖下土壤微生物活性加强，有助于将土壤中的植物残体等有机物分解为土壤有机质，从而增加土壤有机质含量^[15-16]；而本研究中，芒果园覆盖地布后0-60 cm土壤有机质含量略有增加，但与清耕无显著差异，与前人研究结果不同，这可能与土壤质地、理化性质及耕作栽培措施不同有关。

N、P、K是植物生长发育必需的常量营养元素，是土壤肥力物质基础之一，速效N、P、K是果树生长发育所需N、P、K养分直接来源，是保证果树正常生长发育和优质高产的关键^[11]。前人研究表明，果园行间生草^[5, 7, 36]、秸秆覆盖^[4, 13]及地布覆盖^[15-16]可提高土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量。本研究中，紫云英生草刈割覆盖区0-60 cm各层土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量均高于清耕，其0-60 cm土壤碱解氮、有效磷、速效钾含量分别较清耕提高56.60%、84.20%、21.59%；而地布覆盖区0-60 cm土壤有效磷、速效钾含量分别较清耕明显增加31.84%、14.43%，土壤碱解氮含量略高于清耕，但无显著差异，与前人研究结果基本一致。一方面地面覆盖可增加土壤含水量、降低土壤pH值，有效削弱了土壤氮的挥发损失^[48]；另一方面生草刈割覆盖和地布覆盖为土壤微生物及土壤酶提供了旺盛活动的适宜条件^[4, 15, 31]，促进了微生物及酶对土壤有机质的分解，产生大量有机酸及CO₂，从而增加土壤溶液的酸度，

活化土壤中被固定的P、K,从而提高了土壤中固定态P、K的有效性,使紫云英生草刈割覆盖与地布覆盖能够增强土壤N、P、K的供给能力。而本研究中地布覆盖区土壤碱解氮含量增效不明显,原因可能是地布覆盖改善了芒果树根系生长环境,从而增强了根系对矿质养分的吸收能力,而地布覆盖区无外来N补充,导致土壤碱解氮含量增加不明显。

3.2 生草和地布覆盖对芒果园土壤pH和土壤物理性质的影响

地面覆盖可有效减少土壤水分蒸发及地表径流,提高土壤水分含量,调节土壤温度,改善土壤温湿度环境以及土壤结构,提高土壤酶及土壤微生物活性^[28-32]。而土壤酶和土壤微生物可通过分解土壤有机物产生CO₂和有机酸,从而降低土壤pH^[6]。前人研究已表明,地面覆盖有利于降低碱性土壤的pH值,且对表层土壤的改善作用优于下层土壤^[5, 15, 33]。本研究中,试验芒果园土壤pH值在8.00以上,属于碱性土,而芒果适宜的土壤pH为5.5-7.5^[17, 34],过高的土壤pH值会抑制芒果树生长。地布和紫云英生草刈割覆盖可使早季芒果园0-40 cm土壤水分含量增加9.23%-17.70%、土壤pH降低0.1-0.79,其中紫云英生草刈割覆盖的降低土壤碱性、提高土壤水分含量的效果均优于地布覆盖,紫云英覆盖使土壤中有机质增加,在土壤酶和微生物作用下分解产生更多的CO₂和有机酸,故可导致土壤pH低于地布覆盖。两种覆盖模式对40-60 cm土壤pH及土壤含水量无明显影响,这可能是由于深层土壤pH、含水量与地表覆盖物的关系不大,而与土壤母质和根系的吸水能力相关性较高^[35]。

土壤容重和土壤孔隙度表征着土壤的松紧程度,影响着土壤水肥气热状况。土壤容重低,意味着土壤孔隙度大,土壤通气性就好,利于植物根系生长,同时高孔隙度使土壤具有较强的透水及贮水能力^[36]。土壤毛管孔隙度的大小反映了土壤持水及对植物的供水能力,而非毛管孔隙度大小则反映了土壤滞留水分、发挥涵养水源的功能^[37],因此降低土壤容重、提高土壤孔隙度对改善芒果园土壤旱季缺水问题极为重要。前人研究表明,果园生草^[1, 36]和地布覆盖^[13-14]可降低土壤容重、提高土壤孔隙度,明显改善土壤结构。本研究中,地布覆盖显著提高0-20 cm、20-40 cm土层毛管孔隙度,紫云英生草刈割覆盖显著提高0-60 cm各土层毛管孔隙度,紫云英覆盖还显著降低0-60 cm各土层土壤容重,提高0-20 cm土壤非毛管孔隙度及土壤通气度,而地布覆盖区此3个指标相较于清耕土壤略有改善,但无显著差异。地面覆盖可减弱雨滴对土壤的打击力,防止土壤板结,提高土壤疏松程度^[13],因此地布覆盖和紫云英生草刈割覆盖可一定程度提高土壤孔隙度。而紫云英覆盖下土壤有机质含量增加,在土壤微生物作用下形成腐殖酸,促进土壤团粒结构形成,从而有利于土壤容重的降低及土壤孔隙度的增加^[1],同时在紫云英生长过程中,其根系在土壤中不断穿插以及根系死亡腐解后在土体中留下许多不规则的大孔隙^[38],因此紫云英生草刈割覆盖下毛管孔隙度、非毛管孔隙度高于地布覆盖区,而容重低于地布覆盖区。表明紫云英生草刈割覆盖可改善土壤孔隙度,提高土壤的通气性、透水性和持水能力,增强土壤涵养水源能力。

3.3 生草和地布覆盖对芒果园土壤持水贮水和入渗性能的影响

土壤持水性能是评价土壤持水、供水与水源涵养功能的重要指标^[37],包括最大持水量、毛管持水量、非毛管持水量和田间(最小)持水量。土壤贮水量也是评价土壤水分保持、调

节与涵养水源能力的重要指标,土壤水分贮存可分为吸持贮水和滞留贮水两种形式,在土壤毛管孔隙中贮存的水分称为吸持贮水,主要供给植物根系吸收和土壤蒸发,不参与径流和地下水的形成,与毛管持水量一同反映土壤对植物有效性水分的供给能力,对维持植物生长发育具有重要作用;滞留贮水主要是非毛管孔隙中暂时贮存的自由重力水,即非毛管孔隙在降水时应急贮存的水分,水分后期在重力的作用下向深层土壤下渗,与非毛管持水量一同反映土壤减少地表径流、涵养水源的能力^[21, 39]。前人研究表明,苹果园^[21]、枣园^[38]中生草以及玉米地^[40]、林地^[41]中覆盖秸秆均提高了土壤持水量及贮水量,使土壤保持和涵养更多的水分,缓解土壤旱情;而地布覆盖也提高了土壤持水量^[14]。本研究中,地布覆盖和紫云英生草刈割覆盖均显著提高0-40 cm土壤最大持水量、毛管持水量、吸持贮水量和饱和贮水量,与前人研究结果相似,表明地布覆盖和紫云英生草刈割覆盖能提高芒果园土壤持水贮水能力,增强土壤对果树的供水能力,实现节水增效;另外紫云英覆盖还显著提高0-20 cm土壤非毛管持水量和滞留贮水量,而地布覆盖则无明显提高,即紫云英生草刈割覆盖下土壤能接纳更多降水并及时下渗,减小果园地表径流,补充地下水。已有研究表明土壤持水贮水能力与土壤孔隙度大小、有机质含量、土壤机械组成等密切相关^[21, 38, 42]。从上述讨论可知,地布覆盖仅能提高土壤毛管孔隙度,而紫云英生草刈割覆盖由于草根活动、残体还田等原因既能提高土壤毛管孔隙度,也可使土壤非毛管孔隙度增加,因此紫云英生草刈割覆盖在提高土壤持水贮水能力、防止土壤侵蚀及涵养水源方面的综合性能优于地布覆盖。

土壤水分入渗指地表水分进入土壤并在土壤中再分布的全过程,土壤渗透性能是决定进入土壤、积存于地面或产生地表径流流量的重要因素^[43]。攀枝花芒果花芽分化、开花授粉、坐果等物候期都处于旱季,必须进行人工灌水才能保证芒果正常生长发育,但因温度高、空气湿度低,水分蒸发迅速,因此改善芒果园土壤的入渗性能,减少土壤表面蒸发,节约农业灌溉用水是旱地芒果园生产的关键。前人研究表明生草及秸秆覆盖有利于提高土壤渗透速率^[36, 43],但关于地布覆盖对土壤入渗性能影响的研究报告较少。本研究中,紫云英生草刈割覆盖明显提高0-20 cm土壤稳态渗透率和渗透系数,与前人研究结果一致。而地布覆盖区土壤入渗性能无明显提高。土壤入渗性能能力受土壤理化性质、土地利用方式、土壤下垫面条件等多种因素影响^[44-45],其中土壤孔隙度尤其是非毛管孔隙度对土壤入渗能力的影响最大^[46-47]。紫云英生草刈割覆盖下由于根系在土壤中的生长、穿插、死亡,以及根系分泌物的产生及植株还田作用,土壤有机质含量增加,土壤孔隙度提高,特别是表层土壤的非毛管孔隙度,故紫云英生草刈割覆盖可提高土壤水分的入渗速率,而地布覆盖对土壤非毛管孔隙度无显著影响,导致土壤入渗性能无明显变化。上述分析表明,紫云英生草刈割覆盖有利于农业灌溉水快速渗入土壤转化为土壤水,从而减少表面蒸发及水土流失,提高农业灌溉用水的利用率,实现节水增效与土壤生态保护。

3.4 生草和地布覆盖对芒果叶片及果实产量与品质的影响

大量研究结果表明,果园生草覆盖^[3, 11]、秸秆覆盖^[33, 49]及地布覆盖^[29-49]均有利于促进果树树体生长,提高果实产量及品质,而苹果园、核桃园生草覆盖下的果实综合表现优于地布覆盖^[14, 49]。本实验结果表明,两种地面覆盖模式均能提高芒果叶片叶绿素含量及比叶重,提高果实可溶性固形物含

量及固酸比,而紫云英生草刈割覆盖还能明显降低芒果可滴定酸含量、提高芒果单果重。与清耕相比,紫云英生草刈割覆盖区芒果可溶性固形物含量提高13.15%、可滴定酸含量降低36.17%、固酸比提高80.15%,单果重提高17.40%,果实品质表现整体优于地布覆盖,但两种覆盖模式下芒果单株产量无显著变化。从上述3.1、3.2、3.3讨论可知,紫云英生草刈割覆盖及地布覆盖均有利于改善芒果园土壤的水肥气热状况、改良土壤结构及理化性状、增加土壤养分有效性,从而有利于改善芒果根系生长环境,促进根系生长及树体对土壤水分和矿质营养的吸收与利用,进而促进芒果树体生长、改善果实品质,而紫云英生草刈割覆盖对土壤的改良效果优于地布覆盖。‘凯特’芒是一种花芽分化率高、坐果率高的果树,生产上需要大量疏果以控制产量,且果实膨大期处于雨季,降水丰富,因此可能导致地布和紫云英生草刈割覆盖下果实产量与清耕无显著差异。

4 结论

(1) 攀枝花芒果园中地布覆盖和紫云英生草刈割覆盖均能提高土壤水分含量,降低土壤pH;在土壤养分及孔隙度方面,地布覆盖仅对土壤有效磷、速效钾含量以及土壤毛管孔隙度有明显提高作用,而紫云英生草刈割覆盖可提高土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量以及毛管孔隙度、非毛管孔隙度。两种覆盖模式均能一定程度上改善土壤理化性质,其影响主要集中在0-40 cm土层,其中紫云英生草刈割覆盖模式

效果更佳。

(2) 两种覆盖模式均可提高芒果园0-40 cm土壤最大持水量、毛管持水量、吸持贮水量和饱和贮水量,提高土壤有效水分贮存能力,提高土壤对果树所需水分的供给能力;紫云英生草刈割覆盖还可提高0-20 cm土壤非毛管持水量和滞留贮水量,使土壤能接纳更多降水并及时下渗,减小果园地表径流,增强土壤涵养水源功能。

(3) 紫云英生草刈割覆盖可提高芒果园0-20 cm土壤初渗速率、平均渗透速率、稳渗速率和渗透系数,促进水分快速入渗转化为土壤水,减少土壤表面蒸发,提高降水和农业用水利用率。地布覆盖对土壤入渗性能无明显影响。

(4) 两种地面覆盖模式均能提高芒果叶片叶绿素含量及比叶重,提高果实可溶性固形物含量及固酸比;紫云英生草刈割覆盖还能明显降低芒果可滴定酸含量、提高芒果单果重。两种覆盖模式对芒果产量无明显影响。

综合分析表明,紫云英生草刈割覆盖不但在降低攀枝花芒果园土壤碱性、提高土壤有机质及速效养分含量、增加土壤孔隙度、改善土壤物理结构等方面有较好功能,且在提高土壤持水、贮水、供水能力,减少地表径流,涵养水源,提高水分利用,改善芒果果实品质等方面综合性能最好。因此,在攀枝花芒果园中,紫云英雨季生草覆盖、旱季刈割覆盖模式是一种较优的土壤管理方式。该结论可为金沙江干热河谷地带其他芒果产区果园土壤管理制度的制定提供一定的理论参考。同时,为综合评价不同地表覆盖方式对土壤的改良效果,需进一步从土壤机械组成、团粒结构及土壤酶、微生物等方面进行深入研究。

参考文献 [References]

- 李会科, 张广军, 赵政阳, 李凯荣. 渭北黄土高原旱地果园生草对土壤物理性质的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41 (7): 2070-2076 [Li HK, Zhang GJ, Zhao ZY, Li KR. Effects of different herbage on soil quality characteristics of non-irrigated apple orchard in Weibei Loess Plateau [J]. *Sci Agric Sin*, 2008, 41 (7): 2070-2076]
- 左玉环, 刘高远, 杨莉莉, 梁连友, 同延安. 陕西渭北柿子园种植白三叶草对土壤养分和生物学性质的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30 (2): 518-524 [Zuo YH, Liu GY, Yang LL, Liang LY, Tong Y'A. Effect of planting white clover on nutrients and biological properties of soils in persimmon orchard of Weibei, Shaanxi Province, China [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2019, 30 (2): 518-524]
- 白岗栓, 邹超煜, 杜社妮. 渭北旱塬果园自然生草对土壤水分及苹果树生长的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34 (3): 151-158 [Bai GS, Zou CY, Du SN. Effects of self-sown grass on soil moisture and tree growth in apple orchard on Weibei dry Plateau [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2018, 34 (3): 151-158]
- 赵德英. 梨园树盘覆盖的土壤生态效应及树体生理响应研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2013 [Zhao DY. Study on the soil ecological effects and physiological response in different ground cover pear tree [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2013]
- 杨露, 毛云飞, 胡艳丽, 王芸芸, 张璐璐, 尹伊君, 庞会灵, 宿夏菲, 刘业萍, 沈向. 生草改善果园土壤肥力和苹果树体营养的效果[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26 (2): 325-337 [Yang L, Mao YF, Hu YL, Wang YY, Zhang LL, Yin YJ, Pang HL, Su XF, Liu YP, Shen X. Effects of orchard grass on soil fertility and apple tree nutrition [J]. *Plant Nutr Fert Sci*, 2020, 26 (2): 325-337]
- 井赵斌, 李腾飞, 龙明秀, 马文娟. 生草对猕猴桃园土壤酶活性和土壤微生物的影响[J]. 草业科学, 2020, 37 (9): 1710-1718 [Jing ZB, Li TF, Long MX, Ma WJ. Effects of planted grasses on soil enzyme activities and microbial communities in a kiwifruit orchard [J]. *Pratac Sci*, 2020, 37 (9): 1710-1718]
- 朱先波, 潘亮, 王华玲, 肖丽丽, 钟云鹏, 齐秀娟, 王伟. 十堰猕猴桃果园生草生态效应的分析[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37 (3): 381-388 [Zhu XB, Pan L, Wang HL, Xiao LL, Zhong YP, Qi XJ, Wu W. Analysis of the ecological effects of grass-growing in kiwifruit orchards in Shiyan, China [J]. *J Agr Resour Environ*, 2020, 37 (3): 381-388]
- 王艳廷, 冀晓昊, 吴玉森, 毛志泉, 姜远茂, 彭福田, 王志强, 陈学森. 我国果园生草的研究进展[J]. 应用生态学报, 2015, 26 (6): 1892-1900 [Wang YT, Ji XH, Wu YS, Mao ZQ, Jiang MY, Peng FT, Wang ZQ, Chen XS. Research progress of cover crop in Chinese orchard [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2015, 26 (6): 1892-1900]
- 郑效虎, 李照会, 张安盛. 果园生草对昆虫群落结构及动态影响的研究进展[J]. 落叶果树, 2008 (1): 29-30 [Zheng XH, Li ZH, Zhang AS. Research progress on the effect of grass planting in orchard on insect community structure and dynamics [J]. *Deciduous Fruits*,

- 2008 (1): 29-30]
- 10 李国怀. 百喜草及其在南方果园生草栽培和草被体系中的应用[J]. 生态科学, 2001 (Z1): 70-74 [Li GH. The application of bahia grass (*Paspalum notatum*) to sod culture and grass system in south orchard [J]. *Ecol Sci*, 2001 (Z1): 70-74]
- 11 吴玉森, 张艳敏, 冀晓昊, 张芮, 刘大亮, 张宗营, 李文燕, 陈学森. 自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分、酶活性及果实品质的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46 (1): 99-108 [Wu YS, Zhang YM, Ji XH, Zhang R, Liu DL, Zhang ZY, Li WY, Chen XS. Effects of natural grass on soil nutrient, enzyme activity and fruit quality of pear orchard in Yellow River Delta [J]. *Sci Agric Sin*, 2013, 46 (1): 99-108]
- 12 周建国, 生静雅. 园艺地布在现代果园行间管理中的应用[J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (30): 11972-11973 [Zhou JG, Sheng JY. Application of groundcover in modern orchard intercropping management [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2013, 41 (30): 11972-11973]
- 13 曹欣冉. 几种覆盖方式对旱地苹果园土壤及树体的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016 [Cao XR. The influence of different kinds of mulching ways on soil and growth in non-irrigation apple orchard [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2016]
- 14 任鸿濠. 核桃省力化土肥水管理技术研究及效果评价[D]. 保定: 河北农业大学, 2018 [Reng HM. Study on soil management, fertilization and irrigation technique of labour-saving cultivation and effect assessment of walnut [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2018]
- 15 李发康, 谢玉琴, 薛应钰, 李龙, 李小伟. 苹果树根域土壤理化性质对园艺地布覆盖的响应[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38 (5): 123-129 [Li FK, Xie YQ, Xue YY, Li L, Li XW. Response of physical and chemical properties of soil in apple root-zone to black ground fabric mulching [J]. *Agric Res Arid Areas*, 2020, 38 (5): 123-129]
- 16 李寒, 郝赛鹏, 郭素萍, 齐国辉, 张雪梅, 孙萌. 地布覆盖对苹果园土壤理化性质及杂草生长的影响[J]. 林业与生态科学, 2018, 33 (4): 402-407 [Li H, Hao SP, Guo SP, Qi GH, Zhang XM, Sun M. Effects of ground cloth mulching on soil physical and chemical properties and weed growth in apple orchard [J]. *For Ecol Sci*, 2018, 33 (4): 402-407]
- 17 张瀚曰, 胡斌, 包维楷, 李贵利, 潘宏兵, 杜邦. 攀枝花地区芒果园土壤pH现状及变化趋势[J]. 应用与环境生物学报, 2020, 26 (1): 63-73 [Zhang HY, Hu B, Bao WK, Li GL, Pan HB, Du B. Current status and change tendency of soil pH in mango orchards in Panzhihua City, China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2020, 26 (1): 63-73]
- 18 张哲. 早收早播对紫云英生物学特性的影响[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2009 [Zhang Z. The influence of biological characteristics in the *Astragalus sinicus* L. at early sowing and early planting [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2009]
- 19 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2007 [Bao SD. Soil Agro-Chemical Analysis [M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2007]
- 20 中国林业科学研究院林业研究所. LY/T 1215-1999. 森林土壤水分-物理性质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999 [Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry. LY/T 1215-1999. Determination of forest soil water-physical properties [S]. Beijing: Standards Press of China, 1999]
- 21 高茂盛, 廖允成, 李侠, 黄金辉. 不同覆盖方式对渭北旱作苹果园土壤贮水的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43 (10): 2080-2087 [Gao MS, Liao YC, Li X, Huang JH. Effects of different mulching patterns on soil water-holding capacity of non-irrigated apple orchard in the Weibei Plateau [J]. *Sci Agric Sin*, 2010, 43 (10): 2080-2087]
- 22 中国林业科学研究院林业研究所. LY/T 1218-1999. 森林土壤渗透率的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999 [Research institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry. LY/T 1218-1999. Determination of forest soil permeability [S]. Beijing: Standards Press of China, 1999]
- 23 张治伟, 朱章雄, 王燕, 傅瓦利, 文志林. 岩溶坡地不同利用类型土壤入渗性能及其影响因素[J]. 农业工程学报, 2010, 26 (6): 71-76 [Zhang ZW, Zhu ZX, Wang Y, Fu WL, Wen ZL. Soil infiltration capacity and its influencing factors of different land use types in Karst slope [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2010, 26 (6): 71-76]
- 24 Arnon DI. Copper Enzymes in isolated chloroplasts, polyphenoloxidase in *Beta vulgaris* [J]. *Plant Physiol*, 1949, 24 (1): 1-15
- 25 苑克俊, 刘庆忠, 李圣龙, 陈秀霞. 利用数码相机测定果树叶面积的新方法[J]. 园艺学报, 2006, 4: 829-832 [Yuan KJ, Liu QZ, Li SL, Chen XX. A new method for measuring leaf area of fruit trees using digital camera [J]. *Acta Hort Sin*, 2006, 4: 829-832]
- 26 全国食品工业标准化技术委员会. GB/T 12456-2008. 食品中总酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009 [National Technical Committee of Food Industry Standardization Administration of China. GB/T 12456-2008. Determination of total acids in food [S]. Beijing: Standards Press of China, 2009]
- 27 全国食品工业标准化技术委员会. GB 5009.86-2016. 食品中抗坏血酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017 [National Technical Committee of Food Industry Standardization Administration of China. GB 5009.86-2016. Determination of ascorbic acid in food [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017]
- 28 高登涛, 郭景南, 魏志峰, 杨朝选. 果园地面覆盖对土壤质量和苹果生长发育的影响[J]. 果树学报, 2010, 27 (5): 770-777 [Gao DT, Guo JN, Wei ZF, Yang CX. Effect of orchard mulch on soil quality, growth and development of apple trees [J]. *J Fruit Sci*, 2010, 27 (5): 770-777]
- 29 罗玲, 钟奇, 王进, 潘宏兵, 刘伟. 不同覆盖材料对避雨葡萄园土壤微生物特征及葡萄生长与品质的影响[J]. 核农学报, 2021, 35 (2): 471-480 [Luo L, Zhong Q, Wang J, Pan HB, Liu W. Influence of different mulching materials on soil microbe and grape growth in rain-shelter vineyard [J]. *Acta Agric Nucl Sin*, 2021, 35 (2): 471-480]
- 30 Rodrigues MA, Correia CM, Claro AM, Ferreira IQ, Barbosa JC, Moutinho-Pereira JM, Bacelar EA, Fernandes-Silva AA, Arrobas M. Soil nitrogen availability in olive orchards after mulching legume cover crop residues [J]. *Sci Horticult*, 2013, 158 (4): 45-51
- 31 罗玲, 刘伟, 钟奇, 王进, 吕秀兰. 不同覆盖材料对避雨葡萄园土壤生物活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2020 (2): 66-74 [Luo L, Liu W, Zhong Q, Wang J, Lü XL. Effects of different mulching materials on soil biological activities in sheltered vineyard [J]. *Soil Fertil Sci Chin*, 2020 (2): 66-74]
- 32 尹晓宁, 刘兴禄, 董铁, 牛军强, 孙文泰, 马明. 苹果园不同覆盖材料对

- 土壤与近地微域环境及树体生长发育的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, **26** (1): 83-95 [Yin XN, Liu XL, Dong T, Niu JQ, Sun WT, Ma M. Effects of different mulching materials on soil and near-surface environment and of apple orchard tree growth [J]. *Chin J Eco-Agric*, 2018, **26** (1): 83-95]
- 33 沈鹏飞, 王威雁, 李彤, 廖允成, 李亚君, 温晓霞. 陕西洛川苹果园不同覆盖措施对土壤性质、细菌群落及果实产量和品质的影响[J]. 园艺学报, 2019, **46** (5): 817-831 [Shen PF, Wang WY, Li T, Liao YC, Li YJ, Wen XX. Effects of different mulching measures on soil properties, bacterial community, fruit yield and quality of Luochuan apple orchard in Shaanxi Province [J]. *Acta Horticult Sin*, 2019, **46** (5): 817-831]
- 34 陈丹宁, 王继富. 土壤pH值与土壤因子灰色关联探讨[J]. 土壤通报, 2015, **46** (1): 117-120 [Chen DN, Wang JF. Analysis on grey correlation between soil pH value and soil nutrients [J]. *Chin J Soil Sci*, 2015, **46** (1): 117-120]
- 35 李淑春. 冀北山地华北落叶松、桦木林土壤水分物理性质研究[J]. 河北林果研究, 2017, **32** (1): 1-5 [Li SC. Study on physical properties of soil water of *Larix principis-rupprechtii* and *Betula* spp. forests in mountain of northern Hebei province [J]. *Hebei J For Res*, 2017, **32** (1): 1-5]
- 36 马晓燕, 王志鑫, 郝康伟, 席琳乔, 韩路. 极端干旱区枣园人工生草对土壤理化性质的影响[J]. 果树学报, 2020, **37** (8): 1184-1195 [Ma XY, Wang ZX, Hao KW, Xi LQ, Han L. Effects of interrow grass planting on soil quality characteristics in jujube orchard in the extremely arid areas of southern Xinjiang [J]. *J Fruit Sci*, 2020, **37** (8): 1184-1195]
- 37 韩路, 王海珍, 于军. 塔里木河上游不同植被类型土壤水文特性研究[J]. 水土保持学报, 2013, **27** (6): 124-129 [Han L, Wang HZ, Yu J. Soil Hydrological characteristics of different vegetation types in the upper reaches of Tarim River [J]. *J Soil Water Conserv*, 2013, **27** (6): 124-129]
- 38 李洪兵, 赵西宁, 王娟, 黄俊, 高晓东. 生草和树枝覆盖对果园土壤持水性能的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, **33** (1): 136-141+181 [Li HB, Zhao XN, Wang J, Huang J, Gao XD. Effects of ground covers and mulches on soil water-holding capacity in jujube orchards [J]. *Agric Res Arid Areas*, 2015, **33** (1): 136-141+181]
- 39 孙计平, 张玉星, 吴照辉, 李英丽, 张召. 生草对梨园土壤物理特性的影响[J]. 水土保持学报, 2015, **29** (5): 194-199 [Sun JP, Zhang YX, Wu ZH, Li YL, Zhang Z. Effect of planting herbage on soil physical properties of pear orchard [J]. *J Soil Water Conserv*, 2015, **29** (5): 194-199]
- 40 刘继龙, 李佳文, 周延, 付强, 张玲玲, 刘璐. 秸秆覆盖与耕作方式对土壤水分特性的影响[J]. 农业机械学报, 2019, **50** (7): 333-339 [Liu JL, Li JW, Zhou Y, Fu Q, Zhang LL, Liu L. Effects of straw mulching and tillage on soil water characteristics [J]. *T Chin Soc Agric Mach*, 2019, **50** (7): 333-339]
- 41 鲁天平, 史征, 刘永萍, 田云峰, 吴圣华. 深沟造林条件下秸秆覆盖对土壤养分和盐分变化的影响[J]. 农业工程学报, 2015, **31** (12): 165-172 [Lu TP, Shi Z, Liu YP, Tian YF, Wu SH. Effect of straw mulching on soil nutrient and salinity changes under condition of deep trench planting [J]. *Trans Chin Soc Agric Eng*, 2015, **31** (12): 165-172]
- 42 Du SN, Bai GS, Yu J. Soil properties and apricot growth under intercropping and mulching with erect milk vetch in the loess hilly-gully region [J]. *Plant Soil*, 2015, **390** (1): 431-442
- 43 王移, 曹龙熹, 樊剑波, 任平. 红壤坡地耕作措施对土壤入渗过程的影响机制[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 2020, **43** (1): 108-114 [Wang Y, Cao LX, Pan JB, Ren P. The mechanism of tillage practices in affecting infiltration on slope farmland of the red soil region [J]. *J Sichuan Norm Univ (Nat Sci)*, 2020, **43** (1): 108-114]
- 44 刘霞, 张光灿, 李雪蕾, 邢先双, 赵玫. 小流域生态修复过程中不同森林植被土壤入渗与贮水特征[J]. 水土保持学报, 2004, **6**: 1-5 [Liu X, Zhang GC, Li XL, Xing XS, Zhao M. Characteristics of soil infiltration and water-holding of different forest vegetation in ecological rehabilitation of small watershed [J]. *J Soil Water Conserv*, 2004, **6**: 1-5]
- 45 杨永辉, 赵世伟, 雷廷武, 吴金水, 刘汗, 赵军, 赵勇钢. 耕作对土壤入渗性能的影响[J]. 生态学报, 2006, **5**: 1624-1630 [Yang YH, Zhao SW, Lei YW, Wu JS, Liu H, Zhao J, Zhao YG. Tillage on soil infiltration under simulated rainfall conditions [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **5**: 1624-1630]
- 46 姚贤良, 程云生. 土壤物理学[M]. 北京: 农业出版社, 1986 [Yao XL, Cheng YS. Soil Physics [M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1986]
- 47 中野秀章. 森林水文学[M]. 李云森译. 北京: 中国林业出版社, 1983 [Nakano H. Forest Hydrology [M]. Translated by Li YS. Beijing: China Forestry Press, 1983]
- 48 封克, 殷士学. 影响氧化亚氮形成与排放的土壤因素[J]. 土壤学进展, 1995, **23** (6): 35-42 [Feng K, Yin SX. Soil factors affecting formation and emission of nitrous oxide [J]. *Prog Soil Sci*, 1995, **23** (6): 35-42]
- 49 周江涛, 赵德英, 程存刚, 闫帅. 覆盖对苹果生育期叶片和果实矿物质元素含量变化的影响[J]. 经济林研究, 2020, **38** (3): 58-67 [Zhou JT, Zhao DY, Cheng CG, Yan S. Effects of different mulching on variation of mineral element contents in apple leaves and fruits during the development period [J]. *Nonw For Res*, 2020, **38** (3): 58-67]