

间作紫花苜蓿对沙棘根系分布及根际土壤的影响

于忠亮¹, 杨帆¹, 付世萃², 刘璐¹, 苑景淇¹, 张大伟^{1*}

¹吉林省林业科学研究院(吉林省林业生物防治中心站), 吉林 长春

²吉林省林业调查规划院, 吉林 长春

收稿日期: 2025年8月11日; 录用日期: 2025年9月3日; 发布日期: 2025年9月22日

摘要

为了阐述间作紫花苜蓿对沙棘根系生长分布及根际土壤改善效果, 通过5年生沙棘人工林和林下间作2年的紫花苜蓿为对象开展上述研究得出: 沙棘林间作紫花苜蓿后, 对沙棘根系有显著正向影响, 细根土层深度在40~60 cm时分布最多, 为48.8 g。同时, 间作紫花苜蓿后, 土壤pH值降低了2.93%、电导率降低了6.82%、有机质、全氮、全磷和全钾含量分别提高了9.91%、7.29%、5.26%和3.66%。

关键词

沙棘, 紫花苜蓿, 土壤改善

The Effects of Intercropping *Medicago sativa* L. on Root Distribution and Rhizosphere Soil of *Hippophae rhamnoides* L.

Zhongliang Yu¹, Fan Yang¹, Shicui Fu², Lu Liu¹, Jingqi Yuan¹, Dawei Zhang^{1*}

¹Jilin Provincial Academy Forestry Sciences, Changchun Jilin

²Jilin Provincial Forestry Investigation and Planning Institute, Changchun Jilin

Received: Aug. 11th, 2025; accepted: Sep. 3rd, 2025; published: Sep. 22nd, 2025

Abstract

To elaborate on the effects of intercropping *Medicago sativa* L. on the growth, distribution of *Hippophae rhamnoides* L. roots and the improvement of rhizosphere soil, this study was conducted using

*通讯作者。

文章引用: 于忠亮, 杨帆, 付世萃, 刘璐, 苑景淇, 张大伟. 间作紫花苜蓿对沙棘根系分布及根际土壤的影响[J]. 植物学研究, 2025, 14(5): 316-322. DOI: 10.12677/br.2025.145036

5-year-old *Hippophae rhamnoides* L. plantations and 2-year-old *Medicago sativa* L. intercropped under the forest as research objects. The results showed that intercropping *Medicago sativa* L. in *Hippophae rhamnoides* L. forests had a significant positive impact on *Hippophae rhamnoides* L. roots. The fine roots were most distributed in the soil layer at a depth of 40~60 cm, with a weight of 48.8 g. Meanwhile, after intercropping *Medicago sativa* L., the soil pH value decreased by 2.93%, electrical conductivity decreased by 6.82%, and the contents of soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus, and total potassium increased by 9.91%, 7.29%, 5.26%, and 3.66% respectively.

Keywords

Hippophae rhamnoides L., *Medicago sativa* L., Soil Improvement

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在生态环境建设与可持续农业发展的大背景下,植被的合理配置与土壤生态的优化至关重要。林草复合模式既可解决资源短缺、提高了土地生产力,又可改善生态环境和保护生物多样性,是平衡农林用地的有效手段[1][2]。在吉林省中西地区的退耕还林工程和防沙治沙工程的生态建设中,运用林草复合系统既能充分发挥生态防护功能,又可提高区域内居民收入,实现生态环境治理与经济发展的有效统一[3]。

沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)为胡颓子科沙棘属雌雄异株的落叶灌木或小乔木,在全球多地广泛分布,尤其在在我国北方地区,对水土保持、防风固沙及改善生态环境发挥着不可替代的作用,我国沙棘总面积约为 $6.67 \times 10^5 \text{ hm}^2$, 占世界沙棘的 80% [4],表明我国在发展沙棘林下经济的前景巨大。紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)作为世界范围内优质豆科牧草,因其产量高、营养物质丰富而被广泛种植[5],也常作为农林复合系统中的间作物种[6]。

因沙棘和紫花苜蓿均表现为适应性强,尤其是在干旱半干旱区的复合经营中具有资源高效利用和生态修复明显优势[7]。研究发现紫花苜蓿间作林木、农作物能够提高土壤有效氮含量,对林木的生长有促进作用,改善农作物根系土壤养分,可提高微生物细菌群落数量[8][9]。目前,关于沙棘与紫花苜蓿间作已有研究,但间作紫花苜蓿对沙棘根系分布及根际土壤的影响机制尚不明确。深入探究这一领域,对于优化沙棘种植模式、提升生态修复效果以及推动农林复合生态系统的可持续发展具有重要的理论与实践意义。

2. 试验地概况

试验地位于吉林省农安县内西北部,地处松辽平原,东经 $124^{\circ}31' \sim 125^{\circ}45'$, 北纬 $43^{\circ}55' \sim 44^{\circ}55'$ 。2020年开始营建沙棘人工林,造林株行距为 $2 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 。造林3年后测得沙棘平均树高为 2.12 m, 平均基径为 5.05 cm, 平均冠幅为 1.86 m。

2022年开始在沙棘林下播种紫花苜蓿,株行距约为 $4 \text{ m} \times 25 \text{ cm}$, 播种量 20 kg/hm^2 。在此期间浇透水,灌溉量约为 $1300 \text{ m}^3/\text{hm}^2$, 定期开展沙棘和紫花苜蓿的抚育管护和病虫害防治工作。

3. 试验方法及指标测定

3.1. 试验方法

在沙棘-紫花苜蓿间作林地和沙棘纯林地中各随机布点选取 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 样地 3 块,开展沙棘根系和根际土壤理化性质测定工作。选取同侧距沙棘主干约 1.2 m 处的土壤剖面进行挖掘,规格为 $0.5 \text{ m} \times 0.5$

m, 20 cm 为 1 层, 挖至 120 cm 为止。收集各层土壤及对应植物根系, 根据颜色将沙棘和紫花苜蓿的根系分开, 按照根系直径(D)大小分为粗根(疏导根, $D > 1\text{ mm}$)和细根(吸收根, $D < 1\text{ mm}$)。

3.2. 指标测定

根系生物量测定: 放置 105°C 烘箱烘干至恒重, 自然冷却后称重。

土壤理化性质: 土壤 pH 值采用电极电位法测定, 电导率采用 DDS-11A 型电导率仪测定, 有机质含量采用重铬酸钾 - 外加热法测定, 全氮、磷、钾含量采用 J2000 激光元素分析仪测定。

3.3. 数据分析

使用 EXCEL 软件对野外和实验室数据进行整理, 使用 SPSS 22.0 软件进行方差分析、多重比较和显著性检验。

4. 结果与分析

4.1. 沙棘根系生物量垂直分布特征

由图 1、图 2 可以看出沙棘纯林和沙棘 - 紫花苜蓿间作林下沙棘根系生物量主要集中在 20~60 cm 土壤层之间, 分别占总体根系生物量的 50.4%、50.7%。两种模式下沙棘根系粗根垂直分布呈现出先上升后下降的趋势, 在土层深度为 40~60 cm 时根系分布最多, 根系生物量分别为 307.3 g 和 311.6 g, 差异不显著; 两种模式下沙棘根系细根垂直分布呈现出先上升后下降的波浪趋势, 在土层深度 40~60 cm 和 80~100 cm 时为细根根系的两个峰值, 其中沙棘 - 紫花苜蓿林下沙棘细根分别为 48.8 g 和 25.2 g, 沙棘纯林下细根分别为 41.2 g 和 23.8 g, 在土层深度为 40~60 cm 时, 两种模式下细根分布差异显著。

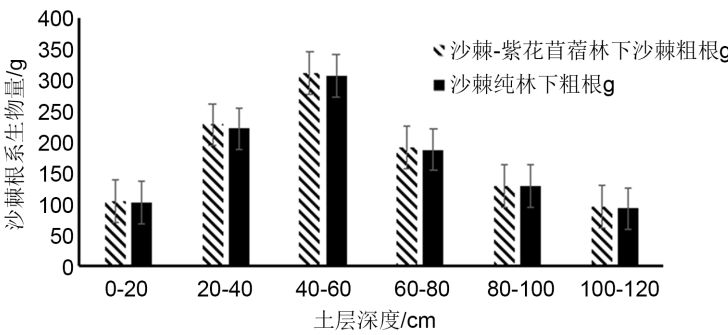


Figure 1. Effect of intercropping *Medicago sativa* L. on the biomass of coarse roots of *Hippophae rhamnoides* L.
图 1. 间作紫花苜蓿对沙棘粗根生物量的影响

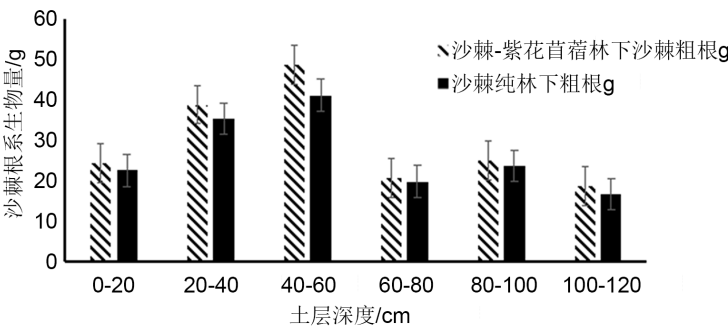


Figure 2. Effect of intercropping *Medicago sativa* L. on the biomass of fine roots of *Hippophae rhamnoides* L.
图 2. 间作紫花苜蓿对沙棘细根生物量的影响

4.2. 土壤 pH 值和电导率的垂直分布特征

如图 3、图 4 所示,在整个土层中,沙棘-紫花苜蓿间作林和沙棘纯林 2 种模式下的土壤 pH 值变化范围在分别在 7.75~8.18 和 8.08~8.29 之间,平均值分别为 7.95 和 8.19,相较于沙棘纯林,间作紫花苜蓿有效地降低了土壤 pH 值,在土层深度为 0~20 cm 时,土壤 pH 值改善效果最为明显,下降了 0.46,总体上平均降幅为 2.93%。同时,沙棘-紫花苜蓿间作林和沙棘纯林 2 种模式下的土壤电导率变化范围在分别在 0.73~0.91 mS/cm 和 0.82~0.93 mS/cm 之间,平均值分别为 0.82 和 0.88 mS/cm。2 种模式下土壤电导率在 0~60 cm 和 100~120 cm 土层差异性显著($P < 0.05$),在 0~60 cm 土层下间作紫花苜蓿后土壤电导率分别下降了 17.58%、13.10%和 17.20%。由此可见,即使在短期内间作紫花苜蓿仍可有效的改善沙棘林表层土壤的 pH 值和土壤电导率。

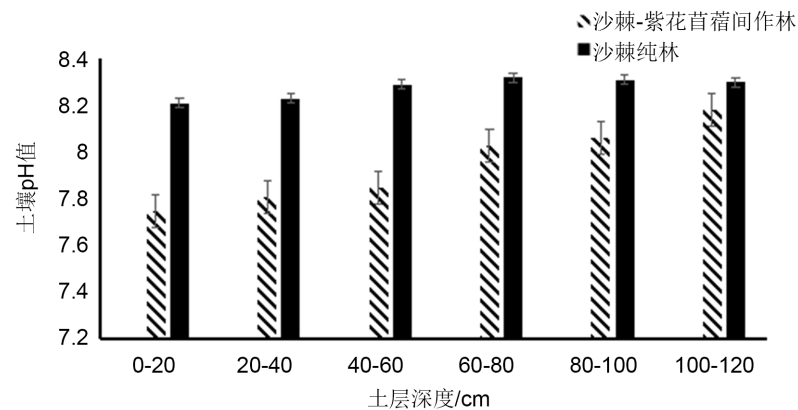


Figure 3. Effect of intercropping *Medicago sativa* L. on Soil pH value

图 3. 间作紫花苜蓿对土壤 pH 值的影响

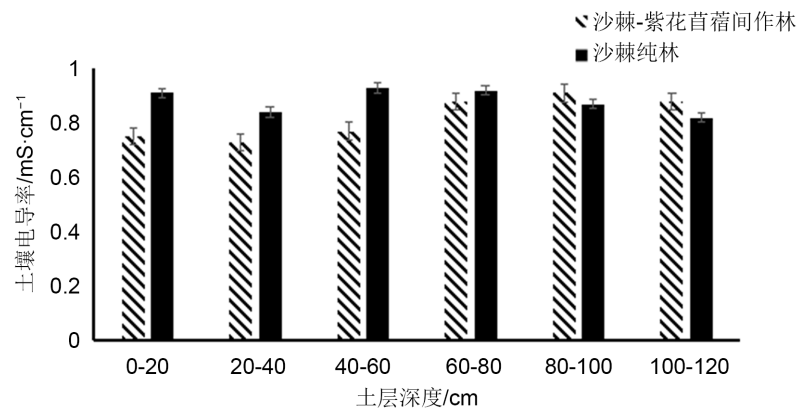


Figure 4. Effect of intercropping *Medicago sativa* L. on soil electrical conductivity

图 4. 间作紫花苜蓿对土壤电导率的影响

4.3. 土壤理化指标含量的垂直分布特征

由图 5 所示,从不同土层的垂直分布来看,沙棘-紫花苜蓿间作林和沙棘纯林下土壤有机质含量随着土层深度的增加而逐渐减少,同土层下,间作紫花苜蓿的沙棘林的有机质含量要高于沙棘纯林,有机质含量主要集中在 0~60 cm 土层,约占总体有机质含量的 60.9%,其中在 0~40 cm 时,有机质含量提高了 14.2%。

试验结果表明间作紫花苜蓿可有效的增加沙棘纯林表层土壤中的有机质含量。

由图 6 所示, 沙棘-紫花苜蓿间作林和沙棘纯林下土壤全氮含量分别在 0.37~1.35 g/kg 和 0.36~1.28 g/kg 之间, 平均值分别为 0.96 g/kg 和 0.89 g/kg; 与沙棘纯林相比, 间作紫花苜蓿下各土层中全氮含量主要集中在 0~40 cm 和 60~80 cm。其中在 60~80 cm 土层下相较于沙棘纯林, 间作紫花苜蓿后显著提高了 18.45%, 在 0~20 cm 土层下提高了 9.63%, 由于紫花苜蓿根系在 100~120 cm 土层中仅存在少量的根系, 所以在 100~120 cm 土层下仅仅提高了 2.70%, 由此表明紫花苜蓿的根系可以提高沙棘土壤中的全氮含量。

由图 7 所示, 沙棘-紫花苜蓿间作林和沙棘纯林下土壤全磷含量分别在 0.20~0.52 g/kg 和 0.22~0.49 g/kg 之间。土壤全磷含量随着土层的增加而逐渐减少, 两种模式下均在 0~20 cm 之间时处含量最高, 分别为 0.52 g/kg 和 0.49 g/kg。随着土层深度的增加, 沙棘-紫花苜蓿林的全磷含量略高于沙棘纯林下的土壤全磷含量, 在 100~120 cm 土层中, 沙棘-紫花苜蓿林的全磷含量却低于沙棘纯林下的土壤全磷含量, 表明在深层土壤中紫花苜蓿根系可能对沙棘根际土壤没有显著的影响或改善。由图 8 所示, 沙棘-紫花苜蓿间作林和沙棘纯林下土壤全钾含量分别在 17.42~33.8 g/kg 和 16.85~32.51 g/kg 之间, 平均值分别为 25.4 g/kg 和 24.5 g/kg。可以看出, 沙棘-紫花苜蓿林下的土壤全钾含量在各个土层下均要高于沙棘纯林下的土壤全钾含量, 但差异均不显著。全钾含量随着土层深度的增加而逐渐减少。

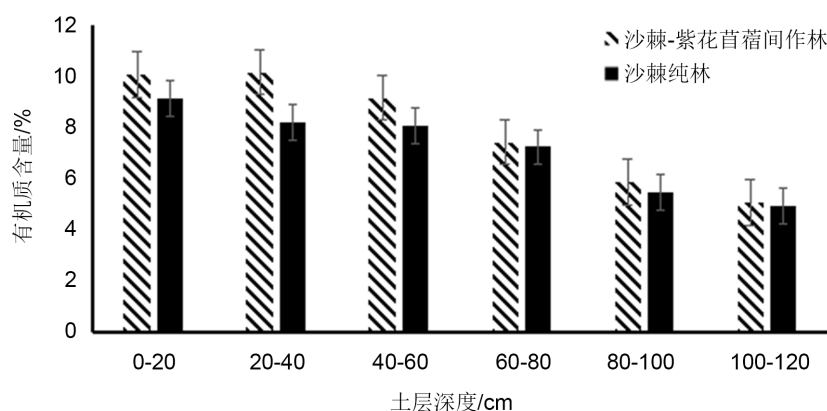


Figure 5. Effect of intercropping *Medicago sativa* L. on soil organic matter content
图 5. 间作紫花苜蓿对土壤有机质含量的影响

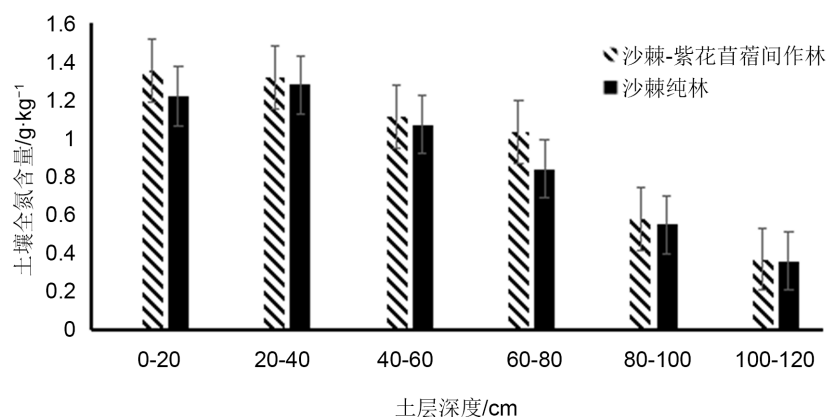


Figure 6. Effect of intercropping *Medicago sativa* L. on soil total nitrogen content
图 6. 间作紫花苜蓿对土壤全氮含量的影响

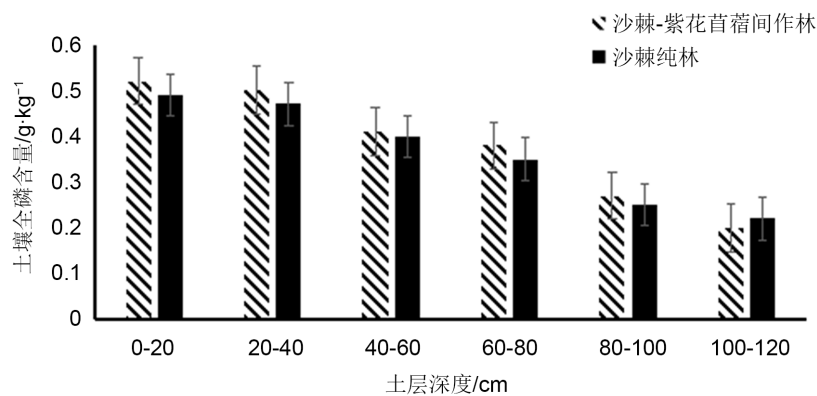


Figure 7. Effect of intercropping *Medicago sativa* L. on soil total phosphorus content

图 7. 间作紫花苜蓿对土壤全磷含量的影响

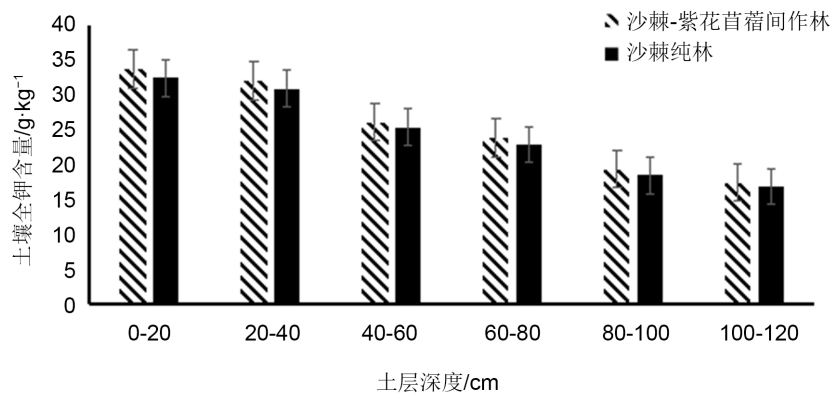


Figure 8. Effect of intercropping *Medicago sativa* L. on soil total potassium content

图 8. 间作紫花苜蓿对土壤全钾含量的影响

5. 结论与讨论

通过在吉林省西部半干旱、轻度盐碱区开展沙棘林营建模式，利用林下间作紫花苜蓿，探讨沙棘 - 紫花苜蓿间作林和沙棘纯林下的根系分布特征和根际土壤理化性质变化，得出以下结论。

沙棘林间作紫花苜蓿后，对沙棘根系有显著的影响，尤其是细根，土层深度在 40~60 cm 时沙棘 - 紫花苜蓿林和沙棘纯林下沙棘细根分别为 48.8 g 和 41.2 g。造成上述的原因可能是紫花苜蓿的浅根竞争与沙棘自身的资源竞争规避策略共同作用，通过根系生态位分化实现资源高效利用的适应机制，也体现了间作系统对土壤资源的分层利用优势。

沙棘林间作紫花苜蓿后，对沙棘根际土壤的 pH 值、电导率和有机质含量等指标有显著的改良和提高，其中土壤 pH 值降低了 2.93%、电导率降低了 6.82%、有机质、全氮、全磷和全钾含量分别提高了 9.91%、7.29%、5.26%和 3.66%。表明紫花苜蓿和沙棘根系及凋落物分解转化为腐殖质，提升有机质和全氮含量；其根系分泌物中的有机酸产生的有机酸，降低土壤 pH 值，而有机酸又能活化土壤中难溶性磷、钾，提高全磷、全钾含量。此外，紫花苜蓿大量吸收土壤可溶性盐分，使电导率降低，形成更适宜沙棘生长的土壤环境。

综上，沙棘林下间作紫花苜蓿不仅可以改善土壤理化性质，促进植株生长，同时紫花苜蓿最为珍贵的牧草，还可以产生巨大的经济价值，本模式可为我省西部林草复合经营区域提供科学依据。

参考文献

- [1] 秦树高, 吴斌, 张宇清. 林草复合系统地上部分种间互作关系研究进展[J]. 生态学报, 2010, 30(13): 3616-3627.
- [2] 张雷一, 张静茹, 刘方, 姚斌. 林草复合系统的生态效益[J]. 草业科学, 2014, 31(9): 1789-1797.
- [3] 樊巍, 高喜荣. 林草牧复合系统研究进展[J]. 林业科学研究, 2004, 17(4): 519-524.
- [4] 冯哲轩, 林奕然, 洪丝琴, 等. 沙棘制品研发现状与展望[J]. 中国食品工业, 2021(21): 102-103+107.
- [5] 李乐, 李丹宁, 杨叶研, 等. 干旱胁迫下紫花苜蓿叶片代谢组分析及气孔调节物质的筛选[J]. 草地学报, 2023, 31(9): 2671-2683.
- [6] 代永欣, 刘永强, 刘思宇, 等. 间作紫花苜蓿对 1 年生和 2 年生中国沙棘水碳平衡和生长的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2025, 43(4): 132-141.
- [7] 马沈轲, 王春梅, 赵春林, 等. 西北干旱半干旱地区节水增汇植物种类筛选[J]. 北京林业大学学报, 2024, 46(8): 122-131.
- [8] Zhang, W., Ahanbieke, P., Wang, B.J., Xu, W.L., Li, L.H., Christie, P., *et al.* (2013) Root Distribution and Interactions in Jujube Tree/Wheat Agroforestry System. *Agroforestry Systems*, **87**, 929-939.
<https://doi.org/10.1007/s10457-013-9609-x>
- [9] 赵雅姣, 刘晓静, 吴勇, 等. 西北半干旱区紫花苜蓿-小黑麦间作对根际土壤养分和细菌群落的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(5): 1645-1652.