

蓝靛果忍冬间作赤芍在不同模式下土壤养分空间分布特征

王立民¹, 于志民^{1*}, 吕品¹, 张继舟¹, 李雯琪¹, 王子煜²

(1. 黑龙江省科学院自然与生态研究所, 哈尔滨 150040; 2. 东北农业大学, 哈尔滨 150040)

摘要: 本文根据蓝靛果忍冬的种植特点, 探索间作中草药对蓝靛果忍冬土壤养分吸收利用及分布特征, 为蓝靛果忍冬复合生态种植模式持续发展提供参考依据。以黑龙江地区特色经济作物蓝靛果忍冬及道地药材赤芍为研究对象, 设置两种种植模式 M_1 、 M_2 及 3 个不同施肥水平, 基于样地调查、土壤样品的采集, 分析蓝靛果忍冬-赤芍间作系统不同模式下不同施肥水平土壤养分空间分布特征。碱解氮在 M_1 中随施肥水平的升高竞争位点向蓝靛果忍冬区域移动, 而在 M_2 中, 竞争位点基本保持在近赤芍区域内; M_1T_1 处理有效磷土壤养分变化系数最低值在 0~10 cm 处, 在 M_1 中随施肥水平的升高竞争位点由赤芍区域向近赤芍区域移动, 而 M_2 中随施肥水平的升高养分竞争位点由近蓝靛果忍冬区域向近赤芍区域内转移; 在 M_1 环境下随施肥水平的升高竞争位点基本上稳定在赤芍区域, 而 M_2 条件下随施肥水平的升高养分竞争位点只有 M_2T_1 处理在蓝靛果忍冬区域, 而 M_2T_2 、 M_2T_3 处理的养分竞争位点均在赤芍区域内。间作系统之间速效养分竞争激烈, 养分的竞争位点基本上集中在赤芍及近赤芍区域, 在低施肥量处理 M_1T_1 、 M_2T_1 养分都在不同程度上呈现合作效应, 有效磷在中高肥量处理 M_1T_2 、 M_1T_3 、 M_2T_2 、 M_2T_3 均有一定程度的竞争关系。

关键词: 蓝靛果忍冬; 赤芍; 间作系统; 养分分布特征; 种植模式

中图分类号: S663.9

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2025)06-0028-07

Spatial Distribution of Soil Nutrients in *Lonicera caerulea* L. - *Paeonia veitchii* Intercropping Systems under Different Planting Patterns

WANG Limin¹, YU Zhimin^{1*}, LYU Pin¹, ZHANG Jizhou¹, LI Wenqi¹, WANG Ziyu²

(1. Institute of Natural Resources and Ecology, Heilongjiang Academy of Sciences, Harbin 150040; 2. Northeast Agricultural University, Harbin 150040, China)

Abstract: This study aims to explore the absorption, utilization, and distribution of soil nutrients in *Lonicera caerulea* L. plantations through intercropping with Chinese herbal medicine, and provide a reference for the sustainable development of *Lonicera caerulea* L. intercropping systems. Using *Lonicera caerulea* L., a characteristic economic crop in Heilongjiang Province, and *Paeonia veitchii*, a traditional Chinese medicinal herb, as research objects, two planting modes (M_1 and M_2) and three fertilization levels were established. Through plot surveys and soil sampling, the spatial distribution of soil nutrients under different fertilization levels and intercropping modes was analyzed. For alkali-hydrolyzable nitrogen, in M_1 , nutrient competition sites shifted towards the *Lonicera caerulea* L. region as fertilization levels increased, whereas in M_2 , these sites remained primarily near the *Paeonia veitchii* region. In the M_1T_1 treatment, the lowest variation coefficient of available phosphorus occurred at the 0-10 cm soil depth. In M_1 , increasing fertilization levels caused nutrient competition sites to move from the *Paeonia veitchii* region towards its vicinity; in M_2 , these sites shifted from areas near *Lonicera caerulea* L. to areas near *Paeonia veitchii*. Under M_1 , nutrient competition sites stabilized in the *Paeonia veitchii* region with higher fertilization, while under M_2 , only the M_1T_1 treatment showed competition sites in the *Lonicera caerulea* L. region, with M_1T_2 and M_1T_3 treatments showing sites within the *Paeonia veitchii* region. Overall, the competition for available

收稿日期: 2024-10-17

基金项目: 黑龙江省科学院基金项目 (KY2022ZR02); 黑龙江省省属科研院所科研业务费重点项目 (CZKYF2021-2-B021); 国家“十四五”重点研发计划项目 (2022YFF1300503-03)

作者简介: 王立民 (1978-), 男, 助理研究员, 硕士, 从事土壤生态、植物营养学研究。

通信作者: 于志民, E-mail: yuzhimin111@163.com

nutrients was intense between intercropping systems, with competition sites concentrated mainly in and around the *Paeonia veitchii* region. Treatments M₁T₁ and M₁T₂ (low fertilization levels) showed varying degrees of nutrient cooperation, while medium and high fertilization treatments (M₂T₁, M₂T₂, M₃T₁, M₃T₂) exhibited competitive relationships for available phosphorus.

Key words: *Lonicera caerulea* L.; *Paeonia veitchii*; Intercropping system; Nutrient distribution; Planting pattern

蓝靛果忍冬 (*Lonicera caerulea* L.) 是忍冬科 (Caprifoliaceae) 忍冬属 (*Lonicera*) 的多年生落叶小灌木, 我国主要分布在大、小兴安岭及长白山等地, 因其果实营养价值极高^[1-2], 并含有大量的花青素类物质, 微量元素, 氨基酸, V_p、V_E 和黄酮类物质, 是公认的一种极具开发价值的新兴小浆果^[3-4]。中药赤芍为毛茛科植物芍药 (*Paeonia lactiflora* Pall.) 野生种的根, 有活血散瘀、清热凉血、化瘀止痛的功效^[5]。蓝靛果忍冬间作赤芍是在蓝靛果忍冬宽行距的基础上对赤芍进行仿野生生态种植, 在不影响蓝靛果忍冬的收获及产量的同时额外增加了赤芍药材的收入, 因此应该对蓝靛果-赤芍间作生态模式进行营养调控, 并在营养调控下土壤的养分空间分布特征进行研究, 这对其高质量发展具有重要意义。研究表明, 栽培赤芍药效成分含量普遍低于野生赤芍^[6-7]。造成赤芍品质差异的环境因素主要有温度、土壤、光照和水分等^[8-10], 同一地域野生环境下的赤芍所面临水分、光照、养分等条件竞争更加激烈, 环境胁迫导致中药材产生防御机制使体内的药效成分积累增加^[11-12]。间作种植模式应用广泛, 与单作相比, 间作植物在形态结构、空间分布等方面存在差异, 能充分利用复合群体生态位互补原理, 弱化种间或种内竞争, 增强互补生长, 实现有限空间资源高效获取和现有资源高效转换^[13]。不同果树间作花生, 果树树龄、树冠遮阴和行间距对花生农艺性状有较大的影响^[14]玉米与大豆条带间作可提高对光资源的利用能力、增加产量及经济收入^[15], 蓝靛果忍冬的收获特点是机械采收, 因此行距较宽, 大约 3 m, 但造成空间的浪费, 而赤芍需要仿野生种植的环境来提升品质, 因此在不太影响蓝靛果忍冬产量的同时在行间种植赤芍, 这样既合理利用了空间, 又能带来接近双倍的收益。本研究就蓝靛果忍冬种植空间利用率不足及选择适合的间作作物的问题, 建立了蓝靛果忍冬-赤芍的间作模式, 同时研究了不同栽培模式下蓝靛果忍冬与赤芍之间的营养竞争、空间分布规律, 来探讨蓝靛果忍冬与赤芍间作的可能性及合理的种植模式、最佳的营养供给方案, 达到提质增效的目

的, 为果药生态复合种植提供参考依据。

1 材料及方法

1.1 试验区概况

本试验在黑龙江省桦南县梨树乡永远村试验基地进行, 基地位于黑龙江省东北部、佳木斯市南部, 中温带大陆性季风气候, 总面积为 7.9 km², 其中, 耕地面积 23.8 万 hm²。海拔 105~853 m, 年平均气温 2.8 °C, 无霜期 120~135 d, 年平均降水量 549 mm, 年平均日照时数 2 343 h。

1.2 研究方法

本研究以当地特色经济作物蓝靛果忍冬与中草药赤芍为主要研究对象, 蓝靛果忍冬行距 300 cm、株距 150 cm, 赤芍行距 60 cm, 株距 40 cm; 试验设两种种植模式, 分别为: 3 年生蓝靛果忍冬苗间作 2 行赤芍芽头, 赤芍与蓝靛果忍冬之间的距离为 0.5 m (M₁); 3 年生蓝靛果忍冬苗间作 3 行赤芍芽头, 赤芍与蓝靛果忍冬之间距离为 0.4 m (M₂)。每种模式设 3 个施肥水平 (N:P₂O₅:K₂O=16:12:19): T₁ (180 kg/hm²)、T₂ (240 kg/hm²)、T₃ (300 kg/hm²), 共 6 个处理。6 个单作分别为赤芍单作 (CDT₁、CDT₂、CDT₃), 蓝靛果单作 (LDT₁、LDT₂、LDT₃), 每块样地面积 108 m², 3 次重复, 总面积约 2 600 m², 蓝靛果忍冬栽植于 2018 年, 赤芍芽头种植于 2021 年秋季, 种植前测定样地的土壤养分含量 (表 1), 试验地的土壤养分含量基本一致, 使本研究在处理后的土壤数据具有可比性。

试验地蓝靛果忍冬株高为 1~1.4 m, 冠幅 95~130 cm, 且每年定期修剪, 保证株高、冠幅在研究过程中的一致性, 在 2019 年 6 月 15 日采集土壤样品。蓝靛果忍冬-赤芍间作系统中采集土壤样品距离赤芍根部每隔 10 cm 取样直到距离蓝靛果忍冬根下 10 cm 处, 由于蓝靛果忍冬属于浅根系植物, 因此采样深度在 0~30 cm, 在单作试验地内随机采集 5 个点的土壤混合并按四分法取样。带回实验室风干研磨分别过 20 目、100 目筛后测定其养分含量。

1.3 试验方法

土壤养分 (土壤 OM、TN、AN、AP、AK、pH、电

表1 试验点播种前耕层土壤(0~30 cm)基本理化性质

Table 1 Basic physico-chemical properties of the plow layer soil(0-30 cm) before sowing at the experimental points

取样区域 Sample are	有机质/g·kg ⁻¹ Organic matter	pH值 pH value	碱解氮/mg·kg ⁻¹ Alkali-soluble nitrogen	有效磷/mg·kg ⁻¹ Available phosphorus	速效钾/mg·kg ⁻¹ Available potassium
桦南试验地	31.400	5.300	111.615	10.280	212.453

导率)含量于当年10—12月在实验室测定。土壤OM、TN采量采用元素分析仪法,AP采用钼锑抗比色法,AN采用碱解扩散法,AK采用火焰光度计

法。测定根据《土壤农化分析》^[6]的方法进行。供试品种(系)来源见表2。

表2 供试品种(系)来源

Table 2 Sources of test varieties (lines)

材料 Material	品种(系) Variety (line)	生育期 Growth period	来源 Source
赤芍	康源1号	多年生	康源药业
蓝靛果忍冬	蓓蕾	多年生	峰然种苗公司

1.4 数据分析

采用Excel 2019进行数据处理,利用SPSS 19.0软件进行平均值、标准差等的计算和方差分析、正态分布等。

2 结果与分析

2.1 间作系统中土壤养分指标的描述性特征统计

由表3可知,在蓝靛果忍冬-赤芍间作系统0~30 cm土层范围内,土壤OM、AK变化幅度分别为20.12~35.77 g/kg和172.69~1 659.97 mg/kg,其平均值分别为25.95 g/kg和397.44 mg/kg,总的看来是比较丰盈的状态;土壤TN、AN变化范围分别为0.07%~0.23%和87.80~690.03 mg/kg,平均值分别为

0.13%和191.88 mg/kg,土壤TN含量在正常范围内,AK处于充盈状态;土壤AP最小值为11.97 g/kg,最大值为226.79 g/kg,平均值为42.99 g/kg,含量较为丰富。综上所述,蓝靛果忍冬-赤芍间作系统土壤养分状况是土壤AP含量上等、土壤OM含量充足;AN、AK含量较高。不同土壤养分指标变异强度不同,其变异程度大小依次为:电导率>AP>AK>AN>TN>OM>pH值,土壤养分指标变异系数为10.29%~85.41%,均小于100%,属于中等变异性。结合K-S检验值可知,土壤TN、OM、pH值呈正态分布,土壤AK、AN、电导率经自然对数转换后也符合正态分布。可以看出,在对土壤进行不同处理之后各种养分含量供应充足,但也因不同

表3 蓝靛果忍冬-赤芍间作系统土壤养分指标统计表

Table 3 Soil nutrient index statistics of the intercropping system of *Viburnum odoratissimum* and *Paeonia veitchii*.

土壤养分指标 Soil nutrient indicator	最大值 Maximum	最小值 Minimum	平均值 Average	标准差 Standard deviation	变异系数/% Coefficient variation	偏度 Skewness	峰度 Peakness	K-S值 K-S value	分布类型 Distribution type
TN/%	0.23	0.07	0.13	0.04	27.36	0.37	0.05	0.679	N
OM/g·kg ⁻¹	35.77	20.12	25.95	2.27	10.29	0.75	2.26	0.675	N
AN/mg·kg ⁻¹	690.03	87.80	191.88	99.87	58.11	2.98	11.76	1.968	lgN
AP/mg·kg ⁻¹	226.79	11.97	42.99	36.72	85.41	3.13	12.17	1.578	N
AK/mg·kg ⁻¹	1 659.97	172.69	417.44	280.44	70.56	2.33	6.43	1.901	lgN
pH值	5.94	4.76	5.35	0.28	5.31	0.00	0.70	0.494	N
电导率/us·cm ⁻¹	1 072.00	36.20	247.71	237.06	95.70	1.63	2.12	1.680	lgN

的施肥处理而变异程度增大,使赤芍-蓝靛果忍冬间作系统土壤养分在空间分布上总体存在中等变异性。同时数据符合正态分布,可以进行下一步的数据分析。

2.2 间作系统中土壤养分水平分布特征

2.2.1 土壤养分含量分布特征

由图 1 可知,随距赤芍水平距离的增加,不同模式不同处理表土层(0~20 cm)的 AP、AN、AK 含量呈现不同的变化趋势; M_1T_1 处理土壤 AK、AP 含量先升后降,AN 含量较为平稳,变化不大; M_1T_2 处理中 AN、AP、AK 含量均随水平距离增加先升后

降; M_1T_3 处理随着与赤芍距离的增加,AK 含量先增加到 30 cm 处达到最高后呈下降趋势,AP 含量也在 30 cm 处最高随后降低,AN 含量在 10 cm 处最高随后平稳下降; M_2T_1 处理 AP 与 AN 均随与赤芍距离的增加呈上升趋势,在 30 cm 处达到最高而后下降,其中 AK 含量降到最低点,而 AP 则在最大距离 40 cm 处含量最高为 51.6 g/kg; M_2T_2 处理 AK 的最大值均出现在 30 cm 处,AN 含量随距离的增加平稳下降,而 AP 则是降-升-降,在 30 cm 处最高; M_2T_3 处理 AN、AP、AK 含量随水平距离增加在 30 cm 处均达到最大值随后降低。

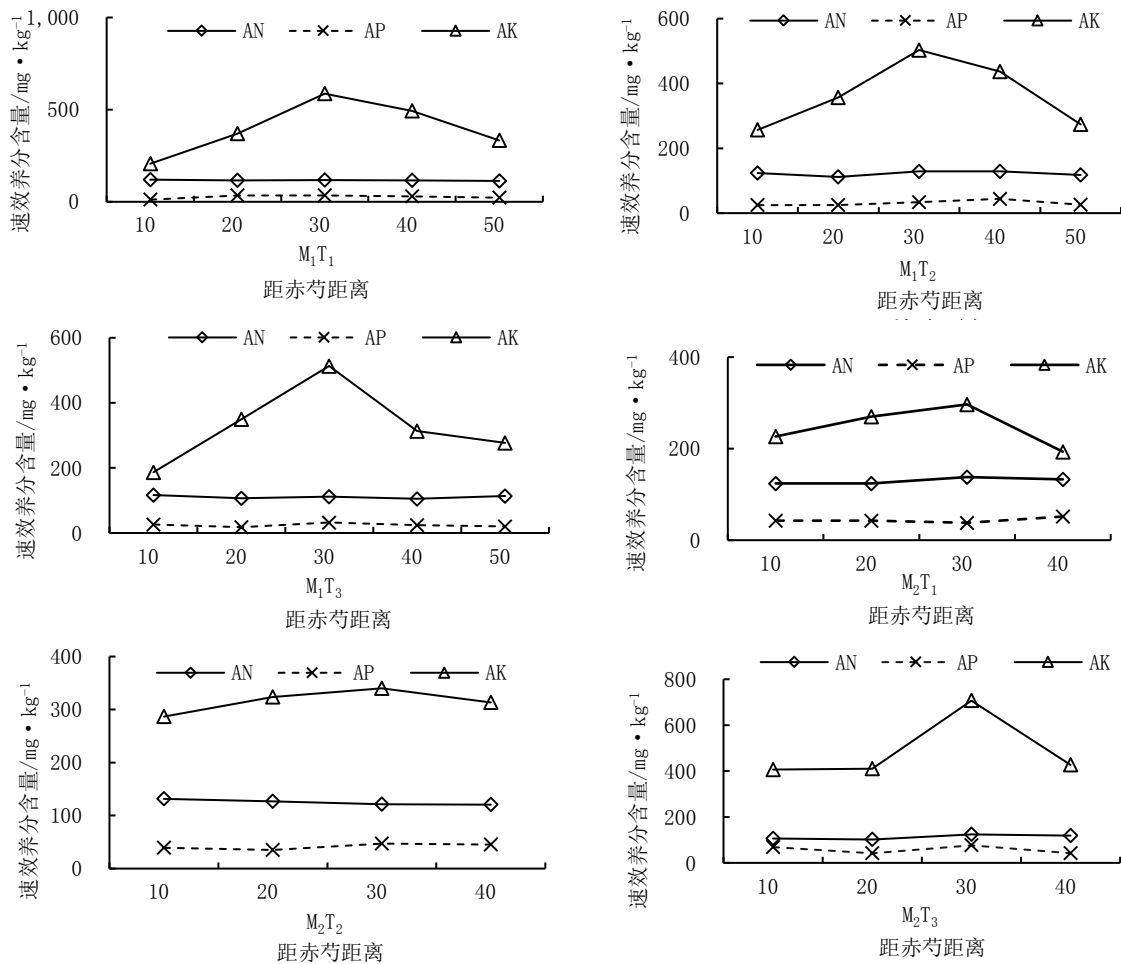


图 1 土壤有效养分空间分布特征

Fig. 1 Spatial distribution characteristics of soil effective nutrients

想要更直观地研究复合种植系统土壤养分的分布特征,结合蓝靛果忍冬的田间管理方式和蓝靛果忍冬与赤芍在不同种植模式下的间距,本研究将 M_1 (30 cm, 50 cm) 距离看作蓝靛果忍冬区域,(0 cm, 20 cm) 范围定义为赤芍区域。其中,(20 cm, 30 cm) 为近赤芍区域, M_2 (20 cm, 40 cm) 范围定义为蓝靛果忍冬区域,(0 cm, 20 cm) 范围定义为赤芍区域。

某种土壤养分变化系数=($SN_i - SN_{ck}$)/ SN_{ck}

式中: SN_i 为间作系统某种土壤养分含量; SN_{ck} 为单作系统某种土壤养分含量^[17]。

由表 4 可知, AN、AP、AK 的土壤养分变化系数有正值也有负值, AN 在 M_1T_2 、 M_1T_3 处理中各区域均存在竞争关系,在 M_1T_1 处理中土壤养分变化系数为正值呈现合作效应,在蓝靛果忍冬区域 M_1T_2 、 M_1T_3 处理 AN 下降的幅度较大,竞争较为激

烈, M_1T_1 处理 AN 提高最小, 可见蓝靛果忍冬对氮素养分的需求强于赤芍; 在 M_2T_1 、 M_2T_2 、 M_2T_3 处理中, 近赤芍区域 M_2T_2 、 M_2T_3 处理氮的下降幅度较大, 而 M_2T_1 处理 AN 提高最小, 说明在赤芍附近区域两种作物存在对氮的竞争; AP 在 M_1T_2 、 M_1T_3 处理中各区域的竞争都比较激烈, 蓝靛果忍冬区域内 AP 下降相对较快, 蓝靛果忍冬对磷的竞争能力大于赤芍, M_1T_1 处理也呈现合作效应, 赤芍区域 AP 提升相对最小; M_2T_1 处理中 AP 相对对照含量提升较多, 表现为合作效应, M_2T_2 、 M_2T_3 处理在赤芍区域

的土壤养分变化系数分别为 -0.29、-0.09, 明显低于蓝靛果忍冬区, 赤芍对养分的竞争也大于蓝靛果忍冬; AK 的土壤养分变化系数大部分为正值 M_1T_1 、 M_1T_2 处理提升最小的是赤芍区域, 分别为 0.2 和 0.01, 呈现合作效应, M_1T_3 处理 AK 在赤芍区与蓝靛果忍冬区竞争激烈, 在赤芍区域里赤芍对于养分的需求强于蓝靛果忍冬; M_2T_1 、 M_2T_2 、 M_2T_3 处理土壤养分变化系数均为正值, 赤芍区域内的值分别为 0.03、0.01、0.14, 相比单作提高幅度较小。

表 4 赤芍-蓝靛果忍冬间作系统不同距离土壤养分变化系数

Table 4 Soil nutrient variation coefficients at different distances in the intercropping system of *Viburnum odoratissimum* and *Paeonia veitchii*

处理 Treatment	取样区距离赤芍/cm Sampling area distance from Radix Paeoniae Rubra	土壤养分变化系数 Coefficient of soil nutrient variation		
		AN	AP	AK
M_1T_1	0~20	0.09	0.31	0.20
	20~30	0.09	0.95	1.44
	30~50	0.06	0.49	0.72
M_1T_2	0~20	-0.21	-0.53	0.01
	20~30	-0.13	-0.35	0.66
	30~50	-0.37	-0.61	0.90
M_1T_3	0~20	-0.34	-0.64	-0.25
	20~30	-0.34	-0.47	0.44
	30~50	-0.35	-0.63	-0.17
M_2T_1	0~20	0.15	1.45	0.03
	20~30	0.25	1.56	0.02
M_2T_2	0~20	-0.13	-0.29	0.01
	20~30	0.02	-0.12	0.24
M_2T_3	0~20	-0.38	-0.09	0.14
	20~30	-0.28	-0.03	0.59

2.2.2 间作土壤养分的竞争位点

从土壤养分变化系数中可以找出间作系统中每个处理两种作物之间的竞争位点, 也就是最低值, 土壤 AN 在 M_1T_1 处理在 30~50 cm 处, M_1T_2 处理在 30~50 cm 处其值为 -0.37, M_1T_3 处理在 0~20 cm 处, M_2T_1 处理在 0~20 cm 处, M_2T_2 处理在 10~20 cm 处, M_2T_3 处理在 0~20 cm 处数值为 -0.38。

土壤 AP 土壤养分变化系数最低值 M_1T_1 处理出现在 0~20 cm 处, M_1T_2 处理在 30~50 cm 处数值为 -0.61, M_1T_3 处理则在 0~20 cm 处, M_2T_1 处理最低值出现在 0~20 cm 处, M_2T_2 处理在 0~20 cm 处, M_2T_3 处理同样出现在 0~20 cm 处其值为 -0.09。

由上述含量特征分析可以看出, 随着赤芍距离的不同土壤养分含量发生变化, 以中间距离点位含量相对较高, 最低点多集中在近赤芍区域和蓝靛果忍冬区域内, 从竞争位点看 M_1 中土壤 AN 随施肥水平的升高竞争位点向蓝靛果忍冬区域移动, 而 M_2 基本保持在近赤芍区域内; M_1 中 AP 竞争位点主要集中在近赤芍范围内, M_2 中 AP 随施肥水平的升高养分竞争位点由近蓝靛果忍冬区域向近赤芍区域内转移; 由于赤芍与蓝靛果忍冬根系特点会使其在近赤芍区域内交织, 导致了养分竞争位点的变化, 也同时为间作系统施肥提供有效参考。

3 讨 论

本研究蓝靛果忍冬在种植过程中由于赤芍的介入,引发了蓝靛果忍冬与赤芍之间对土壤养分的竞争,土壤养分变化系数和养分竞争激烈点位置随时间和空间而变化,某种程度上反映了蓝靛果忍冬与赤芍复合种植系统所能承受的营养物质及两种作物之间的竞争关系。土壤中各种养分作为蓝靛果忍冬和赤芍所共有,一定会对土壤养分、水等进行竞争,导致土壤养分含量大量减少。因此,通过人为适量添加养分对土壤中营养物质有增益作用,养分的减少和增加定会影响蓝靛果忍冬与赤芍竞争或互补的平衡关系。蔡崇法等^[18]研究发现,当养分供应不足时,必然引起植物个体的生长、发育、生态及其生态位改变,即引起养分竞争。汪雪等^[19]对紫花苜蓿与燕麦间作系统的研究表明,表土层内紫花苜蓿与燕麦根系交叉重叠强烈,其间作系统内存在的种间氮营养竞争和互补利用使土壤中氮素在燕麦根际发生富集。进一步研究间作作物的种间互作效应,并从生态生理学和群体间作的角度分析土壤养分高效利用的机理机制,阐明合理化间作模式对土壤性状的调控^[20]。本研究中由于蓝靛果忍冬根系特点,导致其根系与赤芍根系会存在部分交织,对养分竞争激烈,由于赤芍种植分两种模式,因此竞争强度会随距离蓝靛果忍冬不同发生变化,这与云雷等^[21]的研究相符。

4 结 论

(1)从土壤养分的分布特征可以看出,随着赤芍距离的不同土壤养分含量发生变化,以中间点位含量相对较高,且由于赤芍与蓝靛果忍冬根系特点会使其在近赤芍区域内交织,导致养分在近赤芍(10~20 cm)区域内下降最快,其次为蓝靛果忍冬区域。

(2)从竞争位点及养分变化系数来看,间作系统 M_1 中土壤 AN 随施肥水平的升高竞争位点向蓝靛果忍冬区域移动, M_2 中则基本保持在近赤芍区域内; M_1 中 AP 竞争位点主要集中在近赤芍范围内, M_2 中 AP 随施肥水平的升高养分竞争位点由近蓝靛果忍冬区域向近赤芍区域内转移,赤芍区域对磷的竞争要强于蓝靛果忍冬区域。

(3)间作系统中由于种植模式的不同竞争的激烈程度和竞争的位点也有所不同, M_2 密度大,距离蓝靛果忍冬近,由于蓝靛果忍冬根系浅,根系

横向伸展,导致根系交织较多,相互间的竞争更为激烈,养分竞争位点基本上在赤芍或近赤芍区域内; M_1 密度小,距离蓝靛果忍冬较远,竞争位点大部分集中在近赤芍区域,在相同施肥水平条件下, M_1 较 M_2 赤芍养分竞争压力小,且蓝靛果忍冬与赤芍相互之间环境干扰影响较小,赤芍枝叶茂盛,生长性更好,而且在实际田间管理来看, M_1 赤芍两垄种植模式对于蓝靛果忍冬的生长及机械收获基本不受影响,综合来看 M_1 在实际生产中更具有指导意义。

(4)与单作相比,蓝靛果忍冬与赤芍间作系统土壤中的养分含量相对较低,说明间作系统的养分需求量较大,养分竞争也比较激烈,因此,可以在近蓝靛果忍冬区域增施氮肥与磷肥,在赤芍和近赤芍区域增施磷肥和适量的钾肥。

参考文献:

- [1] SHARMA A, LEE H. *Lonicera caerulea*: An updated account of its phytoconstituents and health-promoting activities[J]. Trends in Food Science & Technology, 2021, 107: 130-149.
- [2] ZHANG M, MA X M, XIAO Z, et al. Polyphenols in twenty cultivars of blue honeysuckle(*Lonicera caerulea* L.): Profiling, antioxidant capacity, and α -amylase inhibitory activity[J]. Food Chemistry, 2023, 421: 136-148.
- [3] 赵晓雪, 薛利强. 蓝靛果忍冬品种综合评价研究[J]. 现代园艺, 2019(15): 5-6.
ZHAO X X, XUE L Q. Research on comprehensive evaluation of blueberry *Vaccinium* species[J]. Contemporary Horticulture, 2019(15): 5-6. (in Chinese)
- [4] LI F F, ZHAO H T, XU R R, et al. Simultaneous optimization of the acidified water extraction for total anthocyanin content, total phenolic content, and antioxidant activity of blue honeysuckle berries(*Lonicera caerulea*) using response surface methodology [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(9): 2968-2976.
- [5] 简在友, 王文全, 俞敬波. 赤芍野生资源调查及可持续利用技术途径探讨[J]. 中国现代中药, 2010, 12(5): 10-11.
JIAN Z Y, WANG W Q, YU J B. Survey of wild resources of Radix Paeoniae Rubra and exploration of utilization technology [J]. Modern Chinese Medicine, 2010, 12(5): 10-11. (in Chinese)
- [6] 胡媛, 赵梓辰, 杨昌林, 等. 野生赤芍和栽培芍药的芍药苷、苯甲酸含量测定[J]. 中药与临床, 2014, 5(6): 3-5, 12.
HU Y, ZHAO Z C, YANG C L, et al. Determination of paeonol and benzoic acid content in wild cultivated *Paeonia veitchii*[J]. Pharmacy and Clinics of Chinese Materia Medica, 2014, 5(6): 3-5, 12. (in Chinese)
- [7] 程明, 杨连菊, 冯学锋, 等. 赤芍野生品和栽培品总鞣质含量比较研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2010, 17(11): 39-40.
CHENG M, YANG L J, FENG X F, et al. Comparison of total tannin content in wild and cultivated rhub[J]. Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine, 2010, 17(11): 39-

40. (in Chinese)
- [8] 张敏. 药用植物赤芍的遗传多样性及其芍药苷与气候因子相关性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2020.
- [9] 王秋玲. 赤芍与白芍质量差异及其形成机制研究[D]. 北京: 北京中医药大学, 2012.
- [10] LI Y, WEN K S, XIAO R, et al. Response of plant secondary metabolites to environmental factors[J]. *Molecules*, 2018, 23: 762–788.
- [11] 黄璐琦, 郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成[J]. *中国中药杂志*, 2007, 32(4): 277–280.
HUANG L Q, GUO L P. Accumulation of secondary metabolites and formation of genuine medicinal materials under environmental stress[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2007, 32(4): 277–280. (in Chinese)
- [12] BORGES C V, MINATEL I O. Medicinal plants: influence of environmental factors on the content of secondary metabolites[J]. *Chemistry & Biodiversity*, 2021, 18(11): 259–277.
- [13] 段婉莹, 陈小莉, 冉志芳, 等. 中药材间作种植历史、模式及其案例分析[J]. *中国中药杂志*, 2024, 49(18): 4841–4846.
DUAN W Y, CHEN X L, RAN Z F, et al. Intercropping history, patterns and case analysis of planting of traditional Chinese materials[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2024, 49(18): 4841–4846. (in Chinese)
- [14] 黄小双, 李海峰, 胡西旦·买买提, 等. 不同果树花生间作模式对花生生长发育、叶片生理特性及产量的影响[J]. *新疆农业科学*, 2023, 60(10): 2433–2441.
HUANG X S, LI H F, HU X D·M, et al. Influence of different tree-peanut intercropping models on growth and development, leaf physiological characteristics and yield of peanut[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2023, 60(10): 2433–2441. (in Chinese)
- [15] 郑皓远, 陈喜凤, 郭丹阳, 等. 条带间作对玉米大豆光能利用特征、产量及经济收入的影响[J]. *东北农业科学*, 2023, 48(6): 1–5.
ZHENG H Y, CHEN X F, GUO D Y, et al. The influence of strip intercropping on the light energy use characteristics yield and economic benefit of maize and soybean[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2023, 48(6): 1–5. (in Chinese)
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2016, 39–108.
- [17] 程昊天, 孔涛, 姜涛, 等. 辽西北沙地苹果-花生间作系统土壤养分空间分布特征及间作效应[J]. *水土保持通报*, 2020, 40(6): 43–50.
CHENG H T, KONG T, JIANG T, et al. Spatial distribution characteristics and intercropping effects of soil nutrients in the Liaoning northwest sand land apple-peanut intercropping system [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2020, 40(6): 43–50. (in Chinese)
- [18] 蔡崇法, 王峰, 丁树文, 等. 间作及农林复合系统中植物组分间养分竞争机理分析[J]. *水土保持研究*, 2000, 7(3): 219–222.
CAI C F, WANG F, DING S W, et al. Analysis of the mechanism of nutrient competition among plant components intercropping and agroforestry complex system[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2000, 7(3): 219–222. (in Chinese)
- [19] 汪雪, 刘晓静, 王静, 等. 紫花苜蓿-燕麦连续间作下根系及土壤养分时空变化特征[J]. *应用生态学报*, 2023, 34(10): 2683–2692.
WANG X, LIU X J, WANG J, et al. Spatio-temporal characteristics of root system and soil nutrients under continuous intercropping offalfa and oats[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, 34(10): 2683–2692. (in Chinese)
- [20] 段雅欣, 禄兴丽, 刘继虎, 等. 间作豆科作物对马铃薯产量及土壤性状影响的研究进展[J]. *东北农业科学*, 2023, 48(3): 96–101, 133.
DUAN Y X, LU X L, LIU J H, et al. Research progress on the influence of intercropping leguminous crops on yield and soil properties[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2023, 48(3): 96–101, 133. (in Chinese)
- [21] 云雷, 毕华兴, 马雯静, 等. 晋西黄土区果农间作土壤养分空间分布[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(S1): 292–299.
YUN L, BI H X, MA W J, et al. Spatial distribution of soil nutrients in fruit tree and crop intercropping systems in the Jinxi loess region[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(S1): 292–299. (in Chinese)

(责任编辑: 王 昱)