

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.23495

青藏高原野生宽叶羌活根际土壤微环境变化 对光合作用的影响

胥生荣, 马瑞丽*, 田国鹏, 祁焕华, 徐吉媛, 韩梅花

(青海大学医学院 / 青海省糖脂代谢疾病防控中医药重点实验室, 青海 西宁 810001)

摘要: 为进一步研究青藏高原野生宽叶羌活药材形成对土壤环境的响应特性, 明确土壤环境在宽叶羌活不同生长年限的差异, 以不同生长年限野生宽叶羌活根际土壤为试验材料, 研究根际土壤酶活性和有机碳含量的变化规律。结果表明, 宽叶羌活对根围土壤孔隙度的影响主要在土层 0 ~ 40 cm 深处, 5 年生地块平均土壤孔隙度减小至对照的 88.56%, 对土层 50 ~ 100 cm 处影响较小。土壤含水量在土层 0 ~ 50 cm 处变化显著, 前 3 年根围土壤含水量逐年增大, 达到对照的 105.59%, 土层 60 cm 以下的土壤水分含量变化规律一致且差异不显著。土壤有机碳含量逐渐下降, 从对照到 5 年生地块, 土壤总有机碳含量降低到原来的 41.75%, 其中, 可溶性有机碳含量降低到原来的 51.78%, 颗粒有机碳含量降低到原来的 18.30%, 活性有机碳含量降低到原来的 24.42%, 易氧化有机碳含量降低到原来的 21.76%, 微生物量碳含量降低到原来的 47.31%; 可溶性有机碳含量在 3 年生和 5 年生土壤间差异不显著, 活性有机碳和易氧化有机碳含量在 2 年生和 3 年生土壤间差异不显著。随着生长年限增长, 土壤脲酶、多酚氧化酶和过氧化氢酶活性呈先降低后升高的变化趋势, 土壤脱氢酶和蔗糖酶活性没有明显变化趋势, 土壤磷酸酶活性呈显著升高的变化趋势。随着株龄增大, 叶片表观量子效率显著减小, 光补偿点、光饱和点和暗呼吸速率均显著增大; 叶片的原初光能转换效率、光化学淬灭系数和光合电子传递效率均表现不同程度的减小, 非光化学淬灭系数表现显著增大, 综合分析表明, 随着生长年限的增加, 土壤理化活性和部分土壤酶及有机碳含量降低, 土壤微环境对根系生物活性的影响作用增大, 根系生存环境的变化影响植株对土壤水分和营养物质的吸收, 植株叶片同化效率降低, 进而影响宽叶羌活药材质量和品质形成。

关键词: 青藏高原; 宽叶羌活; 有机碳; 土壤酶; 光合作用

根系是植物与土壤环境进行物质和能量交换的重要场所, 根际土壤微环境状况直接影响根系的正常生长发育。土壤环境是影响生态农业健康发展和限制植物体生长发育的主要因素。多年生植物随着生长年限增大, 植株根系分泌物不断积累, 导致根系土壤微生物多样性降低, 进而致使土壤酶活性和有机碳含量也产生变化, 影响植物的产量和品质^[1]。土壤多种理化特性都与植株生长和微环境变化有直接或间接的关系。土壤活性有机碳组分含量变化在指示土壤质量方面特别灵敏^[2], 容易受到植物和微生物活动的影响, 随着

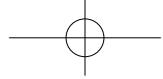
紫花苜蓿生长年限的增长, 土壤有机碳含量随土层深度增加而减小, 随生长年限的增长而先降低后升高, 其活性组分如土壤总有机碳、颗粒有机碳、活性有机碳、易氧化有机碳、微生物量碳等的组分含量变化和分布特征对土壤理化性质和植物生长发育都有重要影响^[3]。不同土层土壤有机碳含量随毛竹生长年限逐渐升高^[4], 长期栽植核桃可改善土壤团聚体稳定性, 有利于表层土壤有机碳积累和活性提高^[5]。土壤酶作为生物催化剂, 能够催化土壤中物质和能量的转化, 与土壤养分含量有密切关系, 能够随着土壤环境变化而做出迅速反应^[6]。土壤酶活性变化与植物种类和种植年限都具有显著相关性, 土壤脲酶活性会随着枣树和半夏生长年限增长而逐年增大^[7], 土壤磷酸酶和过氧化氢酶活性会随着稻、半夏种植年限和土层深度的增加而逐渐下降^[8-9], 土壤过氧化氢酶和脲酶活性随刺梨种植年限增加表现出先升高后降低的趋势^[10]。植株和根际土壤间相互作用,

收稿日期: 2023-08-21; 录用日期: 2023-09-13

基金项目: 青海省基础研究计划项目 (2024-ZJ-951); 青海大学 2021 年度青年科研基金项目 (2021-QYY-6)。

作者简介: 胥生荣 (1985-), 副教授, 博士, 研究方向为药用植物生理生态。E-mail: xushengrong888@163.com。

通讯作者: 马瑞丽, E-mail: 553934544@qq.com。



根际土壤理化特性能够影响药材的生长发育和质量形成, 植株生长也能影响土壤微环境, 且不同植物间也具有显著差异。

土壤微环境和植株生长势变化必然影响植株同化作用效率。土壤微环境改变使根系从土壤中吸收的物质组成发生变化, 使同化系统可利用物质原料发生变化, 进而影响光合系统原来的运行平衡, 促使植物体通过调控光合特性来适应新环境。叶片光系统 II 在植物体适应环境过程中起到重要能量转化作用^[11]。叶片组织荧光特性可以直接反映光合作用特性, 叶片原初光能转化效率可以用叶绿素荧光参数反映^[12-13]。

宽叶羌活作为中药羌活的基源植物, 是青藏高原重要的药用植物资源, 主要分布在青藏高原高海拔地区。随着中药材产业不断发展, 野生资源受到严重破坏, 人工栽培生产羌活药材品质不高, 这就对药材栽培管理提出了更高的要求。农田有机碳和酶活性研究其数量上的差异不能全面阐释土壤能量的循环与转化, 以及对农田作物生长的影响, 因此, 为了明确农田土壤环境对羌活药材质量形成的影响, 通过测定不同生长年限野生宽叶羌活根际土壤微环境变化和光合与荧光特性, 将土壤因子间的交互作用与影响叶片光合特性的关键因素联系起来, 建立土壤有机碳和植物碳同化循环动态变化研究思路, 以期研究土壤微环境对药材质量形成的影响特点, 为进一步研究土壤管理和提高种植药材质量提供研究基础。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2022 年 4—10 月在青海省海东市互助县北山国家森林公园 (36.8° N, 102.16° E) 进行。试验区海拔 3109 m, 属大陆寒温带气候, 年平均气温 5.8℃, 年均降水量 502 mm, 年蒸发量 1236 mm, 无霜期 114 d, 土壤肥力均匀, 土壤容重 1.36 g/cm³。

1.2 试验材料

以不同生长年限宽叶羌活根际土壤为供试材料, 选取 5 m × 5 m 样方内所有植株, 根据植株花序、根茎和根系等器官形态, 鉴别植株生长年限, 选择 2 年生、3 年生、5 年生植株, 剔除苗龄过大植株, 于 2022 年 9—10 月 3 次挖取植株及根际土

壤, 每 10 cm 分为一段, 逐段分离根系和根际土壤, 用毛刷将根际土壤装入自封袋中, 取样后根据试验需求分别测定各土壤有机碳和酶活性指标。以样方内根围土壤为对照。

1.3 指标测定

1.3.1 土壤含水量与孔隙度测定

选择距离植株主干 10 cm 处, 将 0 ~ 100 cm 土壤分为 10 层, 每 10 cm 为 1 层, 土壤孔隙度测定采用环刀法。将 0 ~ 150 cm 土层土壤分为 15 层, 每 10 cm 为一层, 混匀后用烘干法测定土壤含水量。每次取样时在样方内至少选择 5 株植物取样测定。

1.3.2 土壤酶活性

利用苯酚钠比色法测定脲酶活性; 高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性; 邻苯三酚比色法测定多酚氧化酶活性; 三苯基四氮唑氯化物还原法测定脱氢酶活性; 磷酸苯二钠法测定土壤磷酸酶活性; 3,5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶活性。

1.3.3 土壤有机碳

参照张林森等^[14]的方法测定土壤活性有机碳、土壤颗粒有机碳、微生物量碳、易氧化有机碳、可溶性有机碳和土壤总有机碳含量。

1.3.4 光合参数及响应曲线测定

选择植株上生长健康、完全展开的功能叶片, 采用便携式光合作用测定系统 LI-6400 (LI-COR 公司, 美国), 在晴天 9:00—10:00 依次测定有效辐射为 0、50、100、200、300、500、700、900、1100、1300、1500、1700、2000 μmol/(m²·s) 时的净光合速率, 绘制光响应曲线, 计算出光响应曲线方程、表观量子效率、光补偿点、光饱和点和暗呼吸速率^[15]。

1.3.5 荧光参数测定

采用 FMS- II 便携调制式荧光仪 (Hansatech, 英国), 田间测定叶绿素荧光参数变化, 每个处理取 5 个重复。选择功能叶片经暗适应 15 min 后测定各光合荧光参数、初始荧光 (F₀)、最大荧光 (F_m), 计算出可变荧光 (F_v)、原初光能转换效率 (F_v/F_m)、光化学猝灭系数 (qP) 及稳态下荧光 (F_s), 根据 (F_m-F_s)/F_m 计算光合电子传递量子效率 (φPS II)^[15]。

1.4 数据分析及处理

采用 SPSS 23.0 处理所得数据, 首先对不同处

理间进行方差分析,若差异显著,再进一步进行LSD多重比较,采用Excel 2003作图。

2 结果与分析

2.1 不同生长年限土壤孔隙度和含水量变化

土壤环境状态影响其水分贮存能力,是影响植株根系与土壤进行物质能量交换的重要因素。宽叶羌活根围土壤孔隙度随生长年限增加不断减小,植物对土壤孔隙度的影响主要在土层0~40 cm深处,5年生地块平均土壤孔隙度逐渐减小至对照地块的88.56%;而对土层50~100 cm处

影响较小,生长5年地块的平均土壤孔隙度显著最小,为最大值的92.60%,其余3个处理的孔隙度差异不显著。植物体内水分主要来源于土壤,土壤水分状态直接影响植株水分供给。土壤含水量在土层0~50 cm处变化显著,生长前3年根围土壤含水量逐年增大,增大到对照的105.59%,5年生地块土壤含水量略有降低,但与3年生地块差异不显著。在土层60 cm以下土壤水分含量变化规律在各处理间一致,且差异不显著,含水量最低的3年生地块土壤含水量为最高对照处理的95.60%(图1)。

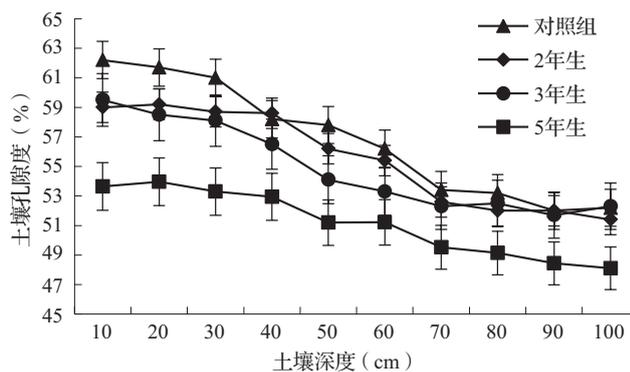
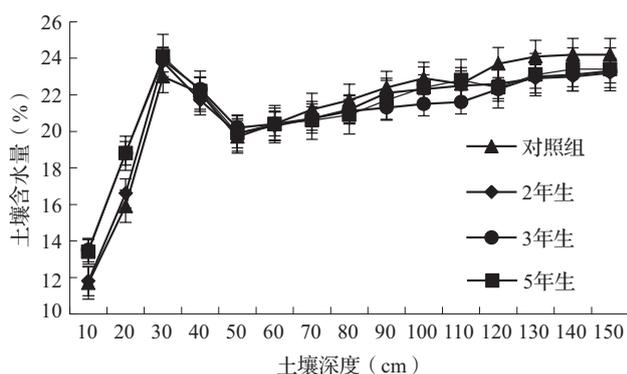


图1 不同生长年限对0~150 cm土壤含水量及0~100 cm土壤孔隙度的影响

2.2 根际土壤有机碳含量与生长年限间的关系

土壤有机碳是碳循环的重要组成部分,其累积和分解使含量的变化直接影响着整个系统内部的碳平衡,对植株生长发育和土壤水分利用也有重要作用。由图2可知,土壤总有机碳含量与其余5种活性有机碳含量的变化趋势一致,随着植物生长年限的增长有机碳含量逐渐下降,但不同有机碳在各处理间变化不同。从对照到5年生地块,土壤总有机碳含量降低到原来的41.75%,其中,可溶性有机碳含量降低到原来的51.78%,土壤颗粒有机碳含量降低到原来的18.30%,土壤活性有机碳含量降低到原来的24.42%,易氧化有机碳含量降低到原来的21.76%,微生物量碳含量降低到原来的47.31%;可溶性有机碳含量在3年生和5年生土壤间差异不显著,该酶活性趋于稳定,土壤总有机碳、土壤活性有机碳和易氧化有机碳含量在2年生和3年生土壤间差异不显著。

2.3 土壤酶活性与生长年限的关系

土壤酶参与土壤中多种生物和化学反应过程,其酶活性可以反映参与强度,是体现酶生物活性

的重要指标。脲酶活性随着生长年限增长呈先降低后升高的变化趋势,在植株生长前3年脲酶活性逐渐降低,达到对照的74.54%,5年生地块脲酶活性显著升高,达到对照的111.04%,各深度土层中变化趋势一致。多酚氧化酶活性随着生长年限增长呈先降低后升高的变化趋势,2年生地块各土层平均酶活性最低,达到对照的91.93%,3年生地块较2年生地块酶活性升高,但差异不显著,5年生地块多酚氧化酶活性升高,达到对照的102.93%。土壤脱氢酶和蔗糖酶活性随着生长年限增长没有明显变化趋势,土壤脱氢酶活性在3年生地块最低,为脱氢酶活性最高的对照地块的91.30%。土壤蔗糖酶活性在5年生地块最低,为蔗糖酶活性最高的对照地块的91.41%。土壤过氧化氢酶活性随生长年限增长呈先降低后升高的变化趋势,3年生地块各土层平均酶活性最低,达到对照的88.50%,5年生地块过氧化氢酶活性升高,达到对照的94.48%。土壤磷酸酶活性随生长年限增长呈显著升高的变化趋势,5年生地块磷酸酶活性达到对照的213.29%(图3)。

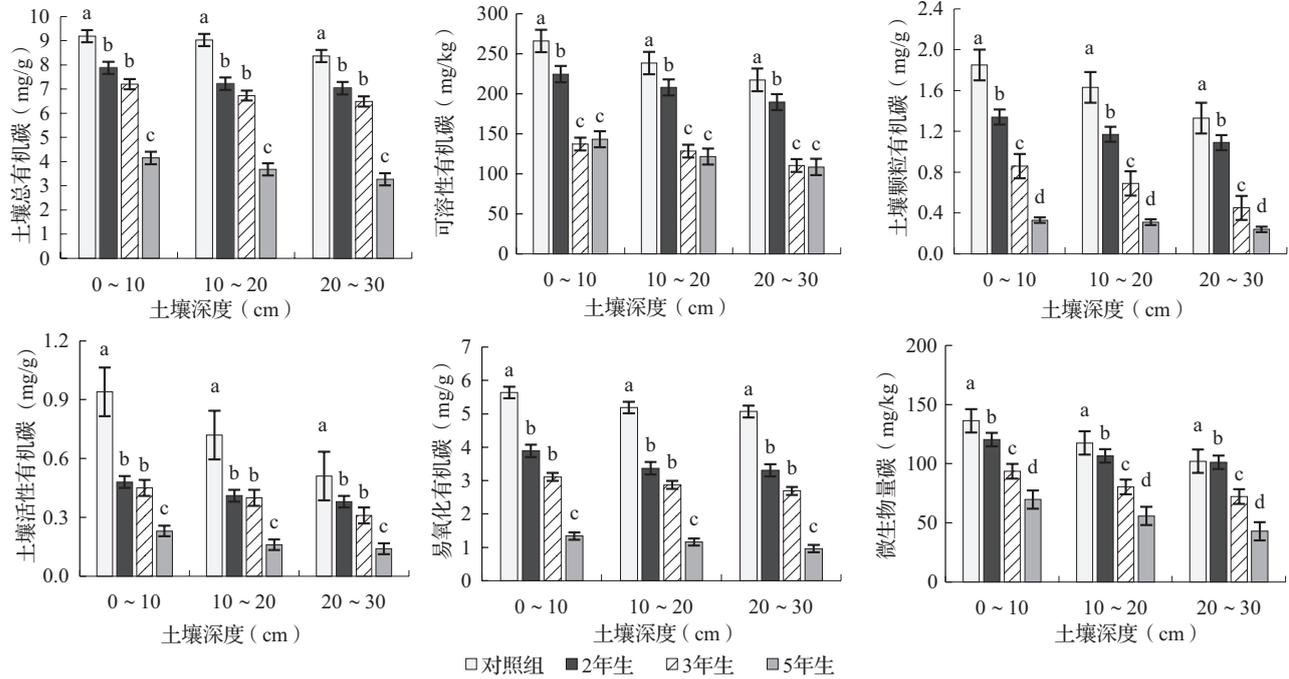


图2 多年生长对根际土壤有机碳含量的影响

注: 不同小写字母代表同一土壤深度、不同样地之间的显著差异 ($P < 0.05$)。下同。

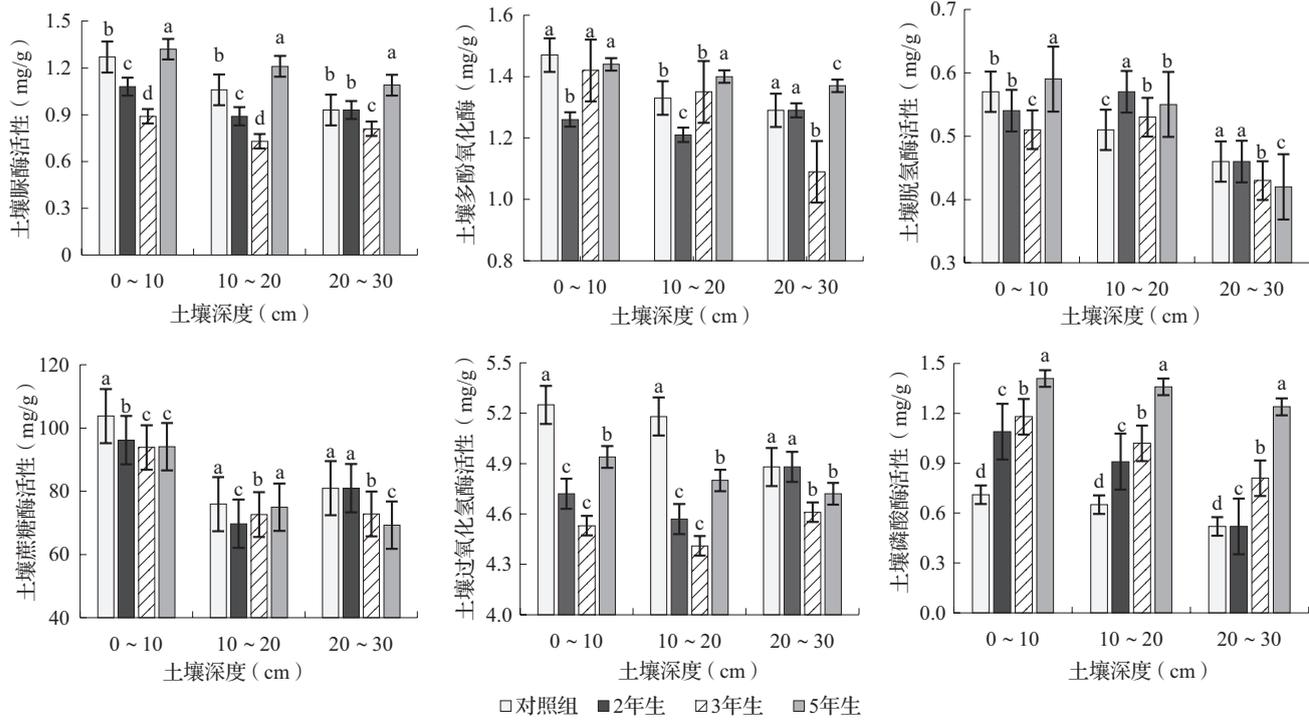


图3 多年生长对根际土壤酶活性的影响

2.4 不同株龄植株叶片光响应曲线和荧光参数变化
光响应曲线可以反映影响叶片净光合速率各因子变化。随着株龄增大, 叶片表观量子效率显著减小, 5年生植株叶片降低到2年生植株叶片的

75.0%; 叶片光补偿点、叶片光饱和点和暗呼吸速率均显著增大, 5年生植株叶片分别升高到2年生植株叶片的671.86%、149.59%和503.13%。叶片叶绿素荧光参数可以有效反映叶片光合特性。随着

株龄增大, 宽叶羌活叶片的 F_v/F_m 、 qP 和 $\phi PS II$ 均表现不同程度的减小, 非光化学淬灭系数 (NPQ) 表现显著增大, 5年生植株叶片 F_v/F_m 、 qP 和 $\phi PS II$ 分别减小到2年生植株叶片的 73.61%、77.17% 和 50.82%, NPQ 增大到2年生植株叶片的 184.44% (表 1、表 2)。

表 1 不同株龄植株叶片光响应曲线及光合参数

处理	光响应曲线方程	R^2	表观量子效率 ($\mu\text{mol}/\mu\text{mol}$)	光补偿点 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	光饱和点 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]	暗呼吸速率 [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
2年生	$y=-0.00005x^2+0.0246x+0.4287$	0.963	$0.0272 \pm 0.003a$	$11.765 \pm 3.04c$	$1230 \pm 13.6c$	$0.32 \pm 0.081b$
3年生	$y=-0.000009x^2+0.0219x+0.092$	0.979	$0.0224 \pm 0.005b$	$17.857 \pm 2.54b$	$1564 \pm 19.1b$	$0.40 \pm 0.055b$
5年生	$y=-0.000007x^2+0.0184x-1.1378$	0.970	$0.0204 \pm 0.005c$	$79.044 \pm 5.33a$	$1840 \pm 14.6a$	$1.61 \pm 0.079a$

注: 不同小写字母代表同一指标不同样地之间的显著差异 ($P<0.05$)。下同。

表 2 不同株龄植株叶片荧光参数

处理	原初光能转换效率	光化学淬灭系数	光合电子传递量子效率	非光化学淬灭系数
2年生	$0.72 \pm 0.03a$	$0.92 \pm 0.05a$	$0.61 \pm 0.05a$	$0.45 \pm 0.06c$
3年生	$0.67 \pm 0.06a$	$0.88 \pm 0.02a$	$0.50 \pm 0.07b$	$0.67 \pm 0.04b$
5年生	$0.53 \pm 0.02b$	$0.71 \pm 0.01b$	$0.31 \pm 0.04c$	$0.83 \pm 0.03a$

3 讨论

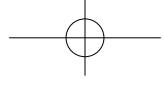
3.1 不同生长年限土壤孔隙度和含水量变化

土壤环境变化时根系首先感知并向植物体发出信号, 而影响根系生理状况最直接的是土壤含水量^[16]和通气状况^[17]等理化性质。林区分布植物是土壤重要的碳库, 通过树体残枝和根系分泌等形式为土壤提供有机碳, 而有机碳又可以影响土壤理化结构, 进而改变土壤对水分的保持能力^[18]。宽叶羌活根围土壤孔隙度随生长年限增加不断减小, 植物对土壤孔隙度的影响主要在土层 0 ~ 40 cm 深处, 对土层 50 ~ 100 cm 深处影响较小。野生环境下表层土壤含有大量凋落物和植物根系, 在微生物作用下分解形成的腐殖质积累, 促使土壤疏松多孔, 提高土壤孔隙度; 野生环境深层土壤很少受到动植物或人为因素干扰, 使土壤孔隙度随着深度增大逐渐降低。植物体内水分主要通过根系吸收来自于土壤的水分, 土壤含水量直接影响植株水分吸收。土壤含水量在土层 0 ~ 50 cm 处变化显著, 生长前3年根围土壤含水量逐年增大, 5年生地块土壤含水量略有降低, 在土层 60 cm 以下土壤水分含量变化规律在各处理间差异不显著。宽叶羌活作为草本植物, 野生植株主要生长在乔木林内, 表层土壤含水量容易受到日照蒸发、降水、林分和林木郁闭度的影响, 致使含水量较低; 浅层土壤中乔木主要分布

粗大主根, 对土壤水分吸收率不高, 同时腐殖质积累形成较多的有机水胶体, 吸附大量水分, 从而使浅层土壤含水量显著升高^[19]。宽叶羌活根系主要分布在 30 cm 土层以上, 对 50 cm 以下深层土壤影响较少, 同时高大乔木对深层土壤水分的利用趋于稳定, 不会产生短期或显著的差异变化。

3.2 根际土壤有机碳含量与生长年限间的关系

土壤有机碳是生态系统中碳循环的重要组成部分, 受到土壤含水量、温湿度、土壤动植物等多种因子的影响, 其存在状态和积累量变化都会对土壤系统内碳循环平衡产生直接影响^[20]。土壤总有机碳含量与其余 5 种活性有机碳含量的变化趋势一致, 随着植物生长年限的增长有机碳含量逐渐下降, 但不同有机碳含量在各处理间变化差异不同。可溶性有机碳含量在 3 年生和 5 年生土壤间差异不显著, 其活性趋于稳定, 随着生长年限的增加土壤长时间未经翻动土壤越来越紧致, 土壤浅层的腐殖质无法翻进土壤, 土壤可溶性有机碳积累减少。土壤总有机碳、土壤活性有机碳和易氧化有机碳含量在 2 年生和 3 年生土壤间差异不显著。有研究发现, 种植茶树年限增加使根际土壤中有机碳积累速率减缓^[21], 稻-蒜轮作使不同土层土壤有机碳含量降低^[22], 这与本研究结果一致。有机碳具有易分解、不稳定的特点, 随着生长年限增加, 土壤中腐殖质增加, 土壤腐殖质增多会逐渐固化成不可利



用的固碳, 但因为土壤腐殖质分解是一个慢性过程, 致使部分有机碳含量相对稳定^[23]。

3.3 土壤酶活性与生长年限的关系

土壤酶参与多种生化反应, 其活性可作为评价土壤肥力的重要指标, 土壤微生物和植物根系分泌物的种类和数量都可以使酶活性发生变化^[24]。土壤脲酶、多酚氧化酶和过氧化氢酶活性随着生长年限增长呈先降低后升高的变化趋势, 土壤脱氢酶和蔗糖酶活性随着生长年限增长没有明显变化趋势, 土壤磷酸酶活性随着生长年限增长显著升高。根际土壤环境是复杂而又存在动态平衡的生态系统, 多种因子之间相互依存、相互拮抗^[25]。土壤酶活性受到微生物数量和多样性的影响, 随着生长年限增长, 土壤微生物区系发生变化, 部分细菌和放线菌数量种群减少, 真菌种群数量增加, 导致根际微生物群落结构失衡和土壤理化性质变化, 导致地力衰竭, 进而影响土壤酶活性^[26]; 根系分泌物也会影响土壤酶活性, 随着根系分泌物在根际土壤中的积累, 对部分微生物种群产生抑制或促进作用, 改变群落结构, 进而改变酶活性^[27]。5年生地块根际土壤部分酶活性升高可能是随着植株程序性衰老, 部分根系腐烂分解, 从而促进了土壤酶活性升高。

3.4 不同株龄植株叶片光响应曲线和荧光参数变化

光响应曲线是叶片净光合速率在不同强度光源下的变化规律。随着株龄增大, 宽叶羌活叶片表现量子效率显著减小, 表明宽叶羌活叶片弱光下利用光能效率降低, 吸收和转化光能的色素蛋白复合体活性降低。叶片光补偿点、光饱和点和暗呼吸速率均显著增大, 表明植株叶片在弱光条件下同化作用减小, 植株对体内营养物质消耗速率加快, 更适宜在相对光照较强的环境中生长。宽叶羌活在生长前2年以营养生长为主, 从第3年开始植株出现抽薹、开花, 营养生长减弱, 生殖生长增强, 使叶片同化作用分配平衡发生变化。随着植株生长, 根系增粗和木质化程度增大, 根系从土壤中吸收和供给植株的水分和营养物质效率降低, 也会影响植株叶片同化效率。叶片PSII反应中心的状态可以用叶片叶绿素荧光强度来体现^[28]。随着株龄增大, 宽叶羌活叶片的Fv/Fm、qP和 ϕ PS II均表现不同程度的减小, NPQ表现显著增大。可见, 光合反应中心对光能的转化利用效率降低, 这就与随着株龄增大, 叶片光补偿点、光饱和点显著增大相对应, 5年生植株需要更高的光照

强度才能获得2年生植株正常光照, 即可获得的能量, 进而促进植株有效成分合成和积累, 提高药材质量^[29]。

4 结论

随着野生宽叶羌活生长年限不断增长, 根围土壤孔隙度不断减小, 植物对土壤孔隙度的影响主要在土层0~40 cm深处, 对土层50~100 cm深处影响较小; 土壤含水量在土层0~50 cm处变化显著, 生长前3年根围土壤含水量逐年增大, 5年生地块土壤含水量略有降低, 在土层60 cm以下土壤水分含量变化规律在各处理间差异不显著; 土壤总有机碳含量与其余5种活性有机碳含量的变化趋势一致, 随着植物生长年限的增长逐渐下降, 但不同有机碳在各处理间变化差异不同, 可溶性有机碳在3年生和5年生土壤间差异不显著, 土壤活性有机碳和易氧化有机碳在2年生和3年生土壤间差异不显著; 土壤脲酶、多酚氧化酶和过氧化氢酶活性随着生长年限增长呈先降低后升高的变化趋势, 土壤脱氢酶和蔗糖酶活性随着生长年限增长没有明显变化趋势, 土壤磷酸酶活性随生长年限增长呈显著升高的变化趋势。植株叶片在弱光条件下同化作用减小, 植株对体内营养物质消耗速率加快, 更适宜在相对光照较强的环境中生长。随着土壤环境因子变化, 宽叶羌活农田系统物质和能量的内循环发生变化, 影响植株对土壤水分和营养物质的吸收, 进而影响宽叶羌活药材质量和品质形成。

参考文献:

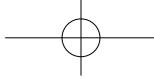
- [1] 张亚军. 甘肃省栽培宽叶羌活质量评价及药材预处理方式的研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2017.
- [2] Barreto P A B, Gama-Rodrigues E F, Gama-Rodrigues A C, et al. Distribution of oxidizable organic C fractions in soils under cacao agroforestry systems in Southern Bahia, Brazil [J]. *Agroforestry Systems*, 2011, 81 (3): 213-220.
- [3] 周恒, 时永杰, 胡宇, 等. 不同生长年限紫花苜蓿草地土壤团聚体有机碳分布特征 [J]. *中国土壤与肥料*, 2017 (1): 1-6.
- [4] 李雯. 不同种植年限毛竹林土壤有机碳库组成及其化学结构的比较 [D]. 杭州: 浙江农林大学, 2021.
- [5] 赵雅琦, 栾好安, 黄绍文. 不同种植年限对桃园土壤团聚体稳定性及其有机碳组分的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2023 (1): 8-18.
- [6] Burke D J, Weintraub M N, Hewins C R. Relationship between soil enzyme activities, nutrient cycling and soil fungal communities in a northern hardwood forest [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2011, 43: 795-803.

- [7] 杜俊龙. 枣园种植年限对土壤有机碳和酶活性特征的影响 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2016.
- [8] 王巍巍. 不同种稻年限苏打盐碱地水田土壤酶活性变化及其与养分含量关系 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2016.
- [9] 王礼科, 罗夫来, 王华磊, 等. 半夏不同连作年限土壤酶活性、微生物及化感物质的分析 [J]. 中药材, 2021, 44 (4): 798-801.
- [10] 韦小了, 何季, 何腾兵, 等. 种植年限对刺梨园土壤微生物数量和酶活性的影响 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47 (13): 280-284.
- [11] Murata N, Takahashi S, Nishiyama Y, et al. Photoinhibition of photosystem II under environmental stress [J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2007, 1767: 414-421.
- [12] Kevin O. Imaging of chlorophyll a fluorescence: theoretical and practical aspects of an emerging technique for the monitoring of photosynthetic performance [J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55 (400): 1195-1205.
- [13] Longenberger P S, Smith C W, Duke S E, et al. Evaluation of chlorophyll fluorescence as a tool for the identification of drought tolerance in upland cotton [J]. Euphytica, 2009, 166 (1): 25-33.
- [14] 张林森, 刘富庭, 张永旺, 等. 不同覆盖方式对黄土高原地区苹果园土壤有机碳组分及微生物的影响 [J]. 中国农业科学, 2013, 46 (15): 3180-3190.
- [15] 马瑞丽, 胥生荣, 陈垣, 等. 干旱胁迫对黄芪叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响 [J]. 中药材, 2018, 41 (3): 531-534.
- [16] North G B, Nobel P S. Hydraulic conductivity of concentric root tissues of agave deserti Engelm. under wet and drying conditions [J]. New Phytologist, 1995, 130: 47-57.
- [17] Kramer P J, Boyer J S. Water relation of plant and soil [M]. Orlando: Academic Press, 1995: 145-147.
- [18] 李航, 严方晨, 焦菊英, 等. 黄土丘陵沟壑区不同植被类型土壤有效水和持水能力 [J]. 生态学报, 2018, 38 (11): 3889-3898.
- [19] 周颖, 李朝桢, 郑昕, 等. 贵州野生白及土壤物理性质与酶活性及相关性特征 [J]. 西南农业学报, 2022, 35 (2): 336-342.
- [20] Dietzel R, Liebman M, Archontoulis S. A deeper look at the relationship between root carbon pools and the vertical distribution of the soil carbon pool [J]. Soil Discussions, 2017, 3 (3): 139-152.
- [21] Wang S Q, Li T X, Zheng Z C, et al. Soil organic carbon and nutrients associated with aggregate fractions in a chronosequence of tea plantations [J]. Ecological Indicators, 2019, 101: 444-452.
- [22] 苟宁健, 李冰, 王昌全. 不同种植年限对稻-蒜轮作土壤团聚体水稳定性及其养分的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2022 (7): 178-189.
- [23] 吴慧, 赵志忠, 吴丹. 海南岛西部原始林土壤有机碳分布特征及其影响因素 [J]. 东北林业大学学报, 2023, 51 (9): 107-111.
- [24] 刘建国, 张伟, 李彦斌, 等. 新疆绿洲棉花长期连作对土壤理化性状与土壤酶活性的影响 [J]. 中国农业科学, 2009, 42 (2): 725-733.
- [25] 宋惠子. 子午岭保护区野生药用植物刺五加化学活性测定及适生土壤环境研究 [D]. 延安: 延安大学, 2022.
- [26] Wu L K, Wang J Y, Huang W M, et al. Plant-microbe rhizosphere interactions mediated by rehmannia glutinosa root exudates under consecutive monoculture [J]. Scientific Reports, 2015, 5: 158-171.
- [27] Edwards J, Medellin C S, Zachary L, et al. Compositional shifts in the root microbiota track the life-cycle of field-grown rice plants [J]. Cold Spring Harbor Laboratory, 2017 (2): 166025.
- [28] 吴雪霞, 陈建林, 查丁石. 低温胁迫对茄子幼苗叶片叶绿素荧光特性和能量耗散的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15 (1): 164-169.
- [29] 曹梅玉, 孙楷, 闫滨滨. 光温条件对苍术光合荧光参数及挥发油含量的影响 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28 (20): 108-115.

Effects of soil microenvironmental changes on photosynthesis in the wild notopterygium forbesii rhizosphere in the Qinghai-Tibet Plateau

XU Sheng-rong, MA Rui-li*, TIAN Guo-peng, QI Huan-hua, XU Ji-yuan, HAN Mei-hua (Medical College/Qinghai Provincial Key Laboratory of Traditional Chinese Medicine Research for Glucolipid Metabolic Diseases, Qinghai University, Xining Qinghai 810001)

Abstract: In order to further study the response characteristics of wild notopterygium forbesii to the soil environment, and clarify the difference of soil environments in different growth years, the soil enzyme activity and organic carbon content of the rhizosphere soil were monitored for wild notopterygium forbesii for three treatments with different continuous growth years (2, 3 and 5 years). With the increase of growth years, the influence on soil porosity was mainly in the depth of 0-40 cm, the average soil porosity of 5-year old plots was decreased to 88.56% of the control, and the influence on the soil porosity at 50-100 cm soil layer was small. The soil moisture content in the 0-50 cm soil layer changed significantly, that in the root circumference was increased year by year in the first 3 years, reaching 105.59% of the control, and the soil moisture content in the soil below 60 cm soil layer had the same change law and the difference was not significant. Soil organic carbon content was decreased gradually, from the control to the five-year-old plots, the total soil organic carbon (TOC) content



was reduced to 41.75% of the original, and dissolved organic carbon (DOC) content was decreased to 51.78%, particulate organic carbon (POC) content was decreased to 18.30%, active organic carbon (LFOC) content was decreased to 24.42%, easily oxidized organic carbon (ROC) content was decreased to 21.76%, and microbial biomass carbon (MBC) content was decreased to 47.31% of the original. There was no significant difference in DOC content between 3-year and 5-year old soils, and no significant difference in LFOC and ROC contents between 2-year and 3-year old soils. The activities of urease, polyphenol oxidase and catalase in soil were first decreased and then increased, and the activities of dehydrogenase and sucrase in soil had no obvious change trend, and the activity of phosphoric acid in soil was increased significantly. With the age of plants, the Leaf apparent quantum efficiency (AQP) was significantly was decreased, and the light compensation point (LCP), light saturation point (LSP) and dark respiration rate (Rd) were all significantly increased. The primary light energy conversion efficiency (Fv/Fm), photochemical quenching coefficient (qP) and photosynthetic electron transfer efficiency (ϕ PSII) of leaves were all decreased to varying degrees, and the non-photochemical quenching (NPQ) coefficient was increased significantly. These results suggest that soil physical and chemical activity and some soil enzyme and organic carbon content were decreased with the increase of growth years, the influence of soil microenvironment on root biological activity was increased, and the change of root living environment affected the absorption of soil water and nutrients by plants, and the plant leaf assimilation efficiency was reduced, further affected the quality and quality formation of live medicinal materials of notopterygium root.

Key words: Qinghai-Tibet Plateau; notopterygium forbesii; organic carbon; soil enzyme; photosynthetic