

不同种植年限山银花根区土壤生物特性

张珍明¹, 乐乐², 林昌虎^{2,3}, 何腾兵²

(1. 贵州省生物研究所, 贵州 贵阳 550009; 2. 贵州大学 生命科学学院, 贵州 贵阳 550025; 3. 贵州省中国科学院天然产物化学重点实验室, 贵州 贵阳 550002)

摘要: [目的] 探索喀斯特山区不同种植年限对山银花产地土壤生物学特性的影响, 为促进贵州省山银花的高产优质栽培提供基础数据。[方法] 采用野外采集和室内分析的方法, 以贵州省绥阳县不同种植年限山银花根区土壤为研究对象, 对比研究了不同年限土壤生物特征。[结果] 随着种植年限的增加, 山银花土壤微生物总数和细菌数量(B)在数值上表现为先增加后减少的趋势, 放线菌数量(S)和真菌数量(F)呈不断增加的变化趋势; 土壤微生物生物量碳、生物量氮和微生物量磷都表现为先增加, 后持续减少的趋势; 土壤过氧化氢酶和脲酶的活性均有先增加后减少的趋势, 土壤磷酸酶有先减少后缓慢增加的趋势; 土壤细菌和真菌数比值(B/F)呈先增加后减少趋势, 放线菌数量(S)和真菌数量比(S/F)随着种植年限的增加而增加; 土壤微生物的 Shannon—Wiener 指数随着种植年限先增大后减小, Simpson 指数和 Shannon 均匀度指数均随着种植年限呈减少趋势。[结论] 随着种植年限的增加, 土壤肥力下降, 根区病毒发病率增大。

关键词: 种植年限; 山银花; 土壤; 生物特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)05-0071-06

中图分类号: S154

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.05.079

Soil Bio-Characteristics of *Lonicerae hypoglauca* with Different Planting Years

ZHANG Zhenming¹, LE Le², LIN Changhu^{2,3}, HE Tengbing²

(1 Institute of Biology, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550009, China;

2. College of Life Science, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 3. Key Laboratory of Chemistry for Natural Products of Guizhou Province and Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: [Objective] Soil bio-characteristics of *Lonicerae hypoglauca* with different planting years was studied in karst mountainous area to provide the basic data for the improvement of *L. hypoglauca* cultivation in Guizhou Province. [Methods] We used the field observation and laboratory analysis in the study. Soil samples from the root zone of *L. hypoglauca* were collected to investigate soil bio-characteristics with different planting years in Suiyang County of Guizhou Province. [Results] The amount of microorganism and bacteria(B) in the soil increased in the initial planting years and then decreased gradually, while the amount of actinomycetes(S) and fungi(F) in the soil increased continually with the addition of the planting years. Similarly, the content of C, N and P of soil microorganisms showed an increasing trend at the initial planting years and then decreased with the addition of planting years. The activity of both catalase and urease increased initially and then decreased. In contrast, soil phosphatase showed a decreasing trend initially and then increased with the addition of planting years. The B/F ratio of soil increased initially and then decreased. The number of actinomycetes/fungi(S/F) increased with the planting year. The Shannon—Wiener index of soil microorganisms increased initially and then decreased, while both of the Simpson index and Shannon evenness index decreased with the addition of planting years. [Conclusion] Soil fertility declines and the incidence of virus in root zone increases with the addition of planting year.

Keywords: planting years; *Lonicerae hypoglauca*; soil; bio-characteristics

收稿日期: 2014-06-12

修回日期: 2014-07-23

资助项目: 贵州省科技厅中药现代化重大专项“贵州地产石斛、半夏等 7 种中药材产地适宜性评价技术体系构建与应用示范”(黔科合重大专项字[2012]6010 号); 贵州省省院合作项目(黔科合院地合[2013]7002); 贵州科学院人才从新团队项目: 贵州省重要生态系统监测创新团队

第一作者: 张珍明(1986—), 男(汉族), 福建省三明市人, 硕士, 助理研究员, 主要从事土壤化学与环境方面研究。E-mail: zhang6653579@163.com。

通信作者: 林昌虎(1961—), 男(汉族), 贵州省盘县人, 学士, 研究员, 主要从事土壤学与环境科学方面研究。E-mail: linchanghu79@sina.com。

山银花 (*Lonicerae hypoglauca*), 又名忍冬花, 系半常绿多年生藤本缠绕灌木或直立小灌木^[1], 生于背风向阳处。山银花原产中国, 是温带及亚热带树种, 根系发达, 适应性强, 耐旱抗涝, 抗逆性强, 对防风固沙有特效^[2]。山银花富含绿原酸、异绿原酸、木犀草苷等, 广泛用于治温病发热、风热感冒、咽喉肿痛、肺炎、痢疾、丹毒、蜂窝组织炎等症, 具有较高的医药价值和经济价值。山银花作用多、易栽易活易管理, 其种植有着巨大的经济、生态和社会效益^[3]。贵州省是中国山银花主产区之一, 全省分布广泛, 产量较大, 药用资源极为丰富, 以遵义市和黔东南等地区产量最大。

随着经济发展, 山银花产业已成为贵州省的主导产业和优势产业。土壤作为中药材生产的基础, 为中药材生长发育提供所需水、热、气、肥。张翔鹤等^[4]通过研究发现: 金银花能与真菌丛枝菌根 (*Arbuscular mycorrhizae*, AM) 形成良好共生关系, AM 真菌分泌的球囊霉素是土壤氮和有机碳的一个重要和稳定的来源, 球囊霉素的积累效应对土壤质量提升起到积极作用。董艳等^[5]通过研究分析得出, 随着种植年限的增加, 土壤中的细菌、放线菌和微生物总数和土壤酶活性都呈先增加后降低的趋势, 以种植 6~8 a 时最高而之后逐年降低, 20 a 达到最低值。目前山银花的研究方向主要集中在生药学研究、品质研究、化学成分研究和药理作用研究^[6]。而准确把握产地土壤的土壤性质, 是药用植物获得优质高产的重要部分。土壤微生物是土壤组成之一, 在土壤形成和肥力发展过程中起着重要作用。土壤中的微生物会在长期连作过程中由高肥力的“细菌型”向低肥力的“真菌型”转变, 如果在培育后期恢复配合秸秆还田, 能在一定程度上增加土壤有机质, 进而为微生物提供丰富的碳、氮源, 维持土壤微生物群落结构的基本稳定^[7]。因此本文通过研究区不同种植年限的山银花下土壤微生物特性, 对山银花产地土壤微生物随种植年限的变化特性进行调查和综合研究, 以期为促进贵州山银花的生产可持续发展提供基础数据。

1 研究区概况

贵州省绥阳县位于贵州省北部, 是贵州山银花主要出产地, 山银花种植年限达 30 a 之久。绥阳县地处东经 107°06′—107°30′, 北纬 27°56′—28°05′, 地貌组合以低山丘陵和宽谷盆地为主, 丘陵分布较广, 低山分布于丘陵、盆地之间, 地势较开阔平坦。绥阳县处于北半球低纬度的亚热带内, 具有亚热带高原湿润季风气候的特点, 气候温和, 年平均气温 15.1 °C, 雨量较丰, 水热同季, 年降雨量 1 050~1 420 mm, 全年无霜期 283 d, 年日照时数 1 114.2 h, 适宜山银花的生长。

绥阳县成土母质主要是页岩、砂页岩、白云质灰岩、石灰岩的第四纪黏土的风化坡积物和残积物, 土壤类型主要是由成土母质发育而成的黄壤、黄棕壤、石灰土, 同时还有部分水稻土。绥阳县山银花种植地多为山间盆地及缓丘地带, 土壤类型主要为砂页岩风化物发育而来的酸黏黄壤, 土层深厚, 硅质黄壤地区含有大量的二氧化硅, 达到了 70% 以上, 具有明显的富铝化和黄化的成土过程, 形成明显的土壤发生层^[8]。

2 材料与方法

2.1 样品采集与制备

于 2012 年 5—7 月, 在绥阳县小关乡回坪、白泥和长旺村的山银花种植基地和蒲场镇高坊子山银花种植基地为主, 周边少量农户种植基地为辅进行土壤样品的采集。采集土壤样品时根据山银花生产基地地形、植被等自然特点及耕作施肥等人为因素, 选择具有代表性、生长水平优良的分布区域为采样区。每个样区内, 采集地形和坡度基本一致的山银花主根系区土壤 (0—20 cm), 2~3 个样点混合为一个土壤样品, 将土样装入塑料袋编号, 用无菌袋承装, 密封、低温保存, 共采集山银花种植基地土样 41 个, 具体采样点的分布情况见表 1。

表 1 土壤样点采集情况

山银花种植年限/a	0~5	6~10	11~15	16~20	21~25
绥阳县小关乡山银花基地土样数	4	7	6	6	6
绥阳蒲场镇高坊子山银花基地土样数	3	3	4	2	0
合计	7	10	10	8	6

将采集的土壤样品带回在实验室风干, 剔除植物残体及大砾石等非土壤物质, 同时避免酸、碱等污染。取风干样品按四分法充分混合后, 用木棍碾压、过尼龙筛, 而后进一步用玛瑙钵研细, 过孔径 1 mm 筛

后分别测定土壤速效养分; 另取土样风干研磨, 过 0.25 mm 筛后测定土壤全量养分, 将过筛样品置于密封袋中作好标签, 放入干燥器中保存备用, 供分析测试用。

2.2 测试方法

土壤微生物数量^[9]:稀释平板法进行培养计数,细菌用牛肉膏蛋白胨培养基,真菌用马丁氏培养基,放线菌用高氏一号培养基;土壤酶活性的测定^[10]:脲酶采用靛酚蓝比色法,磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法,过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法。土壤微生物量 C, N 采用熏蒸— K_2SO_4 提取方法^[11];土壤微生物 P 采用熏蒸培养— $NaHCO_3$ 提取方法^[12]。

2.3 数据处理

试验数据首先按统计学的方法,剔除异常值,把分布于平均值 ± 3 倍标准差之外的异常数值去除,然后用采用 Microsoft Office Excel 2003 和 SPSSV 13.0 统计软件分析进行统计分析。

3 结果与分析

3.1 不同种植年限土壤微生物特性

土壤微生物活动是影响土壤质量的重要因素之一,同时,其数量分布又受很多因素的影响。从表 2 可以看出,不同种植年限的山银花土壤微生物总数在数值上表现为先增加后减少的趋势。其中,种植年限 11~15 a 的土壤微生物总数最多,为 1.55×10^7 个/g,分别比年限 0~5 和 20~25 a 的土壤微生物总数多 186.53% 和 57.19%,而种植年限为 21~25 a 时土壤微生物总数最小,为 9.88×10^6 个/g。与土壤微生物总数随种植年限变化相同,细菌数量随着种植年限也呈先增加后减少的趋势,在种植年限为 11~15 a

时达到最大值的 1.54×10^7 个/g,但是最小值与土壤微生物总数的最小值不同,细菌数量的最小值出现在种植年限为 0~5 a 的 5.32×10^6 个/g,同时种植年限在 21~25 a 年时土壤细菌数量较 11~15 a 有所降低,比 11~15 a 降低 37.92%。土壤中放线菌和真菌随着种植年限呈不断增加的变化趋势,与细菌及土壤微生物总量的变化规律相反,放线菌和真菌的数量在 21~28 a 时都达到最大值,分别为 3.03×10^5 个/g, 4.64×10^4 个/g,比年限 0~5 a 分别多出 272.78%, 201.43%。

土壤微生物主要包括古菌、细菌、真菌、病毒、原生动物和显微藻类等,而土壤微生物中一般以细菌数量最多。表 2 中显示,山银花根区土壤中细菌数量占微生物总数的比例有绝对优势,说明细菌是山银花根区土壤微生物生命活动的主体。山银花根区土壤细菌数量随着种植年限呈先增加后减少的趋势,是因为随着山银花生长种植年限的增加,土壤有机质得到大量的积累,土壤理化性质状况得到改善,熟化过程加速,土壤肥力增加,细菌的生长活动有更好的空间和环境。但随着种植年限的持续增长,土壤酸化和盐渍化抑制了细菌增殖。而随着种植年限的增加,土壤中放线菌和真菌的数量都呈上升趋势。一般认为,由于发育比细菌缓慢、竞争力弱,放线菌和真菌往往会在营养有限时占优势,放线菌和真菌在土壤的数量及在土壤微生物中占到比例可以作为反映土壤质量的一个参照指标^[13]。

表 2 不同种植年限山银花根区土壤微生物特征

种植年限/ a	样本数/ 个	细菌/ (10^6 CFU · g ⁻¹)	放线菌/ (10^4 CFU · g ⁻¹)	真菌/ (10^3 CFU · g ⁻¹)	微生物总数/ (10^6 CFU · g ⁻¹)
0~5	7	5.32 ^c	8.12 ^c	15.39 ^d	5.42 ^b
6~10	10	8.24 ^b	12.93 ^{bc}	24.84 ^c	8.39 ^{ab}
11~15	10	15.35 ^a	15.29 ^b	28.47 ^c	15.53 ^a
16~20	8	12.51 ^{ab}	19.42 ^b	37.02 ^b	12.74 ^a
21~25	6	9.53 ^b	30.27 ^a	46.39 ^a	9.88 ^{ab}

注:同列不同小写字母表示差异在 0.05 水平显著。下同。

3.2 不同种植年限土壤微生物生物量

土壤微生物生物量(soil microbial biomass)是指土壤中体积小于 $5 \times 10^3 \mu m^3$ 的活微生物总量,是土壤有机质中最活跃和最易变化的部分,直接或间接反映土壤肥力和土壤环境质量变化^[14]。土壤微生物生物量碳(SMBC)的含量很大程度上代表着土壤生物活性有机碳的储量,是植物矿质养分的源和汇^[15],其值和土壤有机碳的比值是衡量土壤有机质积累或流失的一个重要指标^[16]。微生物量氮则反映了土壤微生

物对氮素矿化和固持作用,对土壤氮的供应和循环有重要意义^[17];微生物量磷是植株所必需有效磷的重要来源,对于调节土壤磷的植物有效性有重要作用^[18]。

作为表征土壤质量的重要生物学指标之一^[19],不同的种植年限下山银花根区土壤微生物量呈现不同变化趋势。从图 1 可以看出,不同种植年限下的山银花根区土壤微生物生物量碳和生物量氮都先不断增加,在 6~10 a 达到最大值,随后持续减少;其最大平均值分别为 340.90 和 76.39 mg/kg。山银花根区微

生物量磷则在 11~15 a 达到最大值 27.80 mg/kg, 分别是 0~5 和 21~25 a 的 4.63 和 2.68 倍。山银花根区土壤微生物生物量氮在 6~10 a 达到最大值, 说明在 6~10 a 的土壤供氮能力最强, 并能促进活性高的腐殖质形成。相关分析表明, 土壤中速效磷和微生物量磷成显著正相关 ($r=0.65^*$, $n=41$), 土壤有效磷的含量在 11~15 a 达到最大值, 均高于其他年限含量, 与土壤微生物量磷的变化趋势一致。山银花根区土壤微生物生物量碳、生物量磷及生物量氮及随着山银花种植年限的增加, 在 21~25 a 时都较小, 主要是随着土壤酸化、营养失衡等问题的加重, 微生物活性降低, 微生物量也减少。

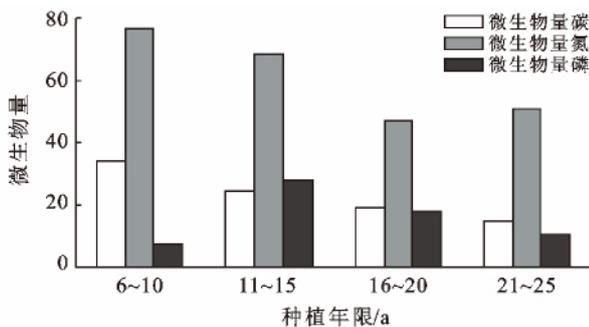


图 1 不同种植年限根区土壤微生物量碳、氮、磷

3.3 不同种植年限土壤酶活性特征

土壤酶是表征土壤中物质、能量代谢旺盛程度和土壤质量水平的一个重要生物指标^[20]。山银花根区土壤酶活性特征研究结果如图 2 所示。由图 2 可以看出, 随着种植年限的增加, 土壤过氧化氢酶和脲酶的活性均有先增加后减少的趋势。山银花根区土壤中土壤过氧化氢酶和脲酶活性都在 11~15 a 的种植年限内达到最大值。随着种植年限的增加, 山银花根区土壤磷酸酶先减少后缓慢增加的趋势, 在 6~10 a 的种植年限内达到最大值, 在种植年限为 10 a 后土壤磷酸酶活性则变化不大。酶活性的增可以加速土壤养分矿化、改善速效养分的供给水平, 增强土壤的解毒作用, 提高土壤环境质量, 相反酶活性降低使得土壤有机养分的转化速率下降, 可溶性营养物质含量降低, 土壤中氧化作用变弱, 过氧化氢的分解受抑制, 使根系的自毒作用加重而引起土壤障碍, 使土壤的生产能力严重下降^[21]。山银花在 6~15 a 种植年限内酶活性的较高, 说明在 6~15 a 种植年限内土壤有机养分转化速率上升、可溶性养分含量增加、土壤中氧化作用增强, 因此土壤质量较高。随着年限的继续增加, 土壤酶活性有所降低, 侧面说明了此时土壤生产能力已经有所下降。

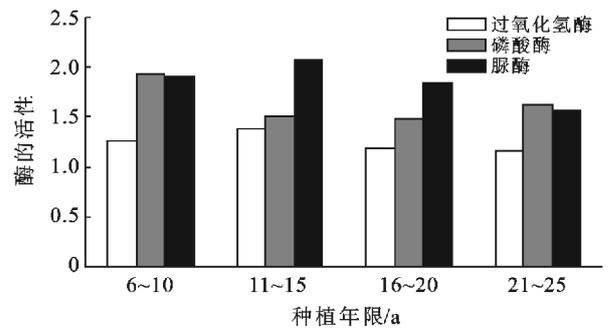


图 2 不同种植年限土壤的酶活性

4 讨论

4.1 不同种植年限土壤 B/F 及 S/F 特征

细菌数量(B)和真菌数量(F)比值(B/F)及放线菌数量(S)和真菌数量比(S/F)是表征土壤肥力的一个潜在指标^[22-23], 能够反映出土壤环境质量的状况。从图 3—4 可以看出, 随着种植年限的增加, 山银花根区土壤 B/F 比值呈先增加后减少趋势。种植年限为 11~15 a 时 B/F 比值最高, 种植年限为 21~25 a 时 B/F 比值最小, 主要是种植初期阶段土壤的环境有利于细菌的大量繁殖, 而放线菌的繁殖却缓慢、竞争力弱, 使 B/F 比值升高。B/F 比值的变化说明了土壤在 11~15 a 腐熟程度最好, 之后土壤质量开始下降。与土壤细菌和真菌数量比(B/F)不同, 放线菌和真菌数量比(S/F)随着种植年限的增加, 在前 20 a 土壤 S/F 比值差异不明显, 在 21~25 a 土壤 S/F 比前 20 a 有所增加。研究表明土壤酸化能够导致土壤细菌数量减少, 但却是真菌数量增多的主要原因^[24]。随着种植年限的增长, 山银花根区土壤环境质量发生改变, 特别是根区土壤 pH 值随着种植年限的增加逐渐减小, 21~25 a 时土壤 pH 值最小^[25]。土壤环境质量的的不同会影响到土壤中微生物种群的不同, 从结果可以看出, 土壤环境质量的改变促进了土壤真菌和放线菌的繁殖, 使真菌在土壤微生物区中所占的比例增加。真菌作为植物的病原菌, 真菌数量增加可能导致土壤病原菌增加, 土壤病原菌增加不利于土壤中微生物种群组成的平衡, 容易导致作物病害的加重^[26]。随着种植年限的增加, 山银花根区真菌的增, 加重了山银花病害的发病率。

4.2 不同种植年限土壤微生物多样性特征

土壤微生物群落组成的多样性和均匀性是衡量生态系统稳定和健康的指标之一^[27]。微生物多样性指数:

Shannon—Wiener 指数:

$$H = - \sum (n_i/N) \ln(n_i/N) \quad (1)$$

式中: n_i ——第 i 个物种的个体数; N ——群落中所有物种的个体数。

$$\text{Simpson 指数: } D = 1 - \sum (n_i/N) \ln(n_i/N) \quad (2)$$

式中: n_i ——第 i 个物种的个体数; N ——群落中所有物种的个体数、Shannon 均匀度指数 $E = H/\ln S$ (S 为群落中的总物种数)。

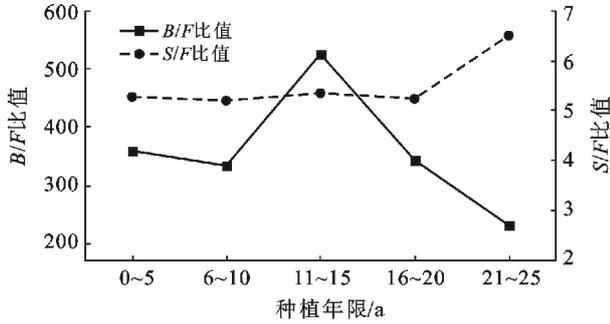


图 3 不同种植年限的土壤 B/F 比值与 S/F 比值

山银花根区不同种植年限土壤微生物多样性及均匀性统计结果如表 3 所示。从统计结果可以看出,随着年限的增加,土壤微生物的 Shannon—Wiener 指数随着种植年限先增大后减小, Simpson 指数和 Shannon 均匀度指数均随着种植年限呈减少趋势。土壤微生物的 Shannon—Wiener 指数在 6~10 a 时为最大值,在 21~25 a 时为 0.143, 6~10 a 时 Shannon—Wiener 指数是 21~25 a 的 3 倍。Simpson 指数和 Shannon 均匀度指数均在 0~5 a 时最高为 0.439, 0.291。土壤微生物的 Shannon—Wiener 指数、Simpson 指数和 Shannon 均匀度指数的最小值均出现在 21~25 a, 说明总体上土壤微生物的多样性和均匀性随着种植年限都不断降低。壤微生物的多样性和均匀性的降低反映出山银花根区土壤生态系统稳定性随着种植年限的增加而显著减少, 这是因为固定不变的耕作措施和管理模式形成了特定的土壤环境条件, 从而影响微生物的繁殖活动。

表 3 不同种植年限山银花根区土壤微生物多样性

种植年限/ a	Shannon—Wiener 指数	Simpson 指数	Shannon 均匀度指数
0~5	0.394 ^a	0.439 ^a	0.291 ^a
6~10	0.426 ^a	0.387 ^a	0.269 ^a
11~15	0.35 ^{ab}	0.194 ^b	0.174 ^b
16~20	0.165 ^c	0.229 ^b	0.096 ^c
21~25	0.143 ^c	0.164 ^b	0.059 ^c

4.3 不同种植年限对土壤微生物的影响

土壤微生物的数量与分布会受到土壤的结构、通气性、水分状况、养分状况等的影响^[28]。随着种植年

限的增加,土壤的理化环境发生了改变,使得土壤中微生物特性发生了改变。随着种植年限的增加,山银花根区土壤微生物总数和细菌数量在数值上表现为先增加后减少的趋势,土壤放线菌和真菌数量随着种植年限呈不断增加的变化趋势。随着种植年限的增加,山银花根区土壤 B/F 比值呈先增加后减少趋势,放线菌和真菌数量比 (S/F) 随着种植年限的增加。土壤退化对一些土壤微生物的数量有不利影响,相反耐性微生物的数量在土壤退化时反而增加^[29]。土壤微生物中包括细菌、真菌、放线菌等在土壤中的数量的改变,对土壤微生物多样性也有一定的影响。随着年限的增加,土壤微生物的 Shannon—Wiener 指数随着种植年限先增大后减小, Simpson 指数和 Shannon 均匀度指数均随着种植年限呈减少趋势。土壤 B/F 和 S/F 表示土壤中细菌和真菌及放线菌和真菌数量的比值,土壤 B/F 和 S/F 能够反映土壤中细菌、真菌和放线菌所占比率的变化。山银花根区土壤中真菌数量逐渐增加而 B/F 比值先增加后降低,使土壤从细菌型向真菌型转化,土壤中真菌数量越多,使得土壤随着种植年限的增加土壤质量在逐渐下降,同时也增加了山银花根区病毒害的发病率。随着种植年限的增加,山银花根区土壤过氧化氢酶和脲酶的活性均有先增加后减少的趋势,土壤过氧化氢酶和脲酶的活性变化与张国红等^[30]的研究结果相同,土壤磷酸酶先减少后缓慢增加的趋势。土壤酶活性是土壤肥力、土壤质量及土壤健康的评价指标之一^[10]。从土壤酶活性变化来看,山银花根区土壤质量随着种植年限增加土壤肥力在下降。

5 结论

(1) 不同种植年限的山银花土壤微生物总数、细菌数量在数值上表现为先增加后减少的趋势,均表现为种植年限 11~15 a 数量最多,种植年限为 21~25 a 时数量最小。土壤中放线菌和真菌随着种植年限呈不断增加的变化趋势,放线菌和真菌的数量在 21~25 a 时都达到最大值。不同种植年限下的山银花根区土壤微生物生物量碳和生物量氮都先不断增加,随后持续减少。山银花根区微生物量磷则在 11~15 a 达到最大,分别是 0~5 和 21~25 a 的 4.63 和 2.68 倍。山银花根区土壤微生物生物量氮在 6~10 a 时土壤供氮能力最强。

(2) 随着种植年限的增加,土壤过氧化氢酶和脲酶的活性均有先增加后减少的趋势。山银花根区土壤中土壤过氧化氢酶和脲酶活性都在 11~15 a 的种植年限内达到最大值。随着种植年限的增加,山银花

根区土壤磷酸酶先减少后缓慢增加的趋势,在 6~10 a 的种植年限内达到最大值。

(3) 随着种植年限的增加,山银花根区土壤 B/F 比值呈先增加后减少趋势。种植年限为 11~15 a 时 B/F 比值最高,种植年限为 21~25 a 时 B/F 比值最小。与土壤细菌和真菌数量比(B/F)不同,放线菌和真菌数量比(S/F)随着种植年限的增加,在前 20 a 土壤 S/F 比值差异不明显,在 21~25 a 土壤 S/F 比前 20 a 有所增加。

(4) 土壤微生物的 Shannon—Wiener 指数随着种植年限先增大后减小,Simpson 指数和 Shannon 均匀度指数均随着种植年限呈减少趋势。总体上土壤微生物的多样性和均匀性随着种植年限都不断降低。银花根区土壤生态系统稳定性随着种植年限的增加而显著减少。

[参 考 文 献]

- [1] 武雪芬,李玉贤,侯怀恩,等. 金银花修剪枝中绿原酸含量测定[J]. 中药材,1996,19(2):69-70.
- [2] 毛启政. 西部开发的先锋高效植物:金银花[J]. 湖北林业科技,2002(3):58-58.
- [3] 陈海丽,李永青. 关于景宁县金银花产业发展的思考[J]. 世界热带农业信息,2011(9):7-8.
- [4] 张翔鹤,贺学礼,王雷. 金银花根围 AM 真菌分布与土壤碳氮的关系[J]. 河北大学学报:自然科学版,2011,31(5):522-527.
- [5] 董艳,董坤,郑毅,等. 种植年限和种植模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(3):527-532.
- [6] 王天志,李永梅. 金银花的研究进展[J]. 华西药学杂志,2000,15(4):292-298.
- [7] 祝丽香,霍学慧,孙洪信,等. 桔梗连作对土壤理化性状和生物学性状的影响[J]. 水土保持学报,2013,27(4):177-181.
- [8] 肖丹,熊康宁,兰安军,等. 贵州省绥阳县喀斯特石漠化分布与岩性相关性分析[J]. 地球与环境,2006,34(2):77-81.
- [9] 姚槐应,黄昌勇. 土壤微生物生态学及其试验技术[M]. 北京:科学出版社,2006:56-58.
- [10] 吴金水,林启美,黄巧云,等. 土壤微生物生物量测定方法及其应用[M]. 北京:气象出版社,2006:117-136.
- [11] Wu J, Brookes P C, Jenkinson D S. Formation and destruction of microbial biomass during the decomposition of glucose and ryegrass in soil[J]. Soil. Biol. Biochem, 1993,25(10):1435-1441.
- [12] 吴金水,肖和艾,陈桂秋,等. 旱地土壤微生物磷测定方法研究[J]. 土壤学报,2003,40(1):70-78.
- [13] 司美茹,赵云峰. 不同种植年限菜田土壤微生物区系的研究[J]. 微生物学杂志,2009,29(2):71-76.
- [14] 李振高,骆永明,腾应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京:科学出版社,2008:322-323.
- [15] Carter M R, Rennie D A. Dynamics of soil microbial biomass N under zero and shallow tillage for spring wheat, using ^{15}N urea[J]. Plant and Soil, 1984,76(1):157-164.
- [16] 魏媛,张金池,俞元春,等. 贵州高原退化喀斯特森林恢复过程中土壤微生物生物碳、微生物熵的变化[J]. 农业现代化研究,2009,30(4):487-490.
- [17] 唐玉霞,孟春香,贾树龙,等. 土壤肥力水平对肥料氮生物固定的影响[J]. 华北农学报,2003,18(S1):136-138.
- [18] 何振立. 土壤微生物量及其在养分循环和环境质量评价中的意义[J]. 土壤,1997,29(2):61-69.
- [19] 王珊. 不同种植年限设施土壤微生物特性变化研究[D]. 四川雅安:四川农业大学,2007.
- [20] 陈慧,郝慧荣,熊君,等. 地黄连作对根区微生物区系及土壤酶活性的影响[J]. 应用生态学报,2007,18(12):2755-2759.
- [21] 吴凤芝,王学征. 设施黄瓜连作和轮作中土壤微生物群落多样性的变化及其与产量品质的关系[J]. 中国农业科学,2007,40(10):2274-2280.
- [22] 胡江春,薛德林,王书锦. 大豆连作障碍研究(Ⅲ):海洋放线菌 MB-97 促进连作大豆增产机理[J]. 应用生态学报,2002,13(9):1095-1098.
- [23] 周德平,褚长彬,刘芳芳,等. 种植年限对设施芦笋土壤理化性状、微生物及酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2012,18(2):459-466.
- [24] 尹睿,张华勇,黄锦法,等. 保护地菜田与稻麦轮作田土壤微生物学特征的比较[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(1):57-62.
- [25] 乐乐,何腾兵,林昌虎,等. 不同种植年限金银花根区与非根区土壤养分差异性研究[J]. 山地农业生物学报,2013,32(3):229-232.
- [26] 杜连凤,张维理,武淑霞,等. 长江三角洲地区不同种植年限保护菜地土壤质量初探[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(1):133-137.
- [27] Celine J, Francois V, Claude A, et al. Soil health through soil disease suppression: Which strategy from descriptors to indicators[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2007,39(1):1-23.
- [28] Noah F, Joshua P S, Patricia A H. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2003,35(1):167-176.
- [29] 滕应,黄昌勇,龙健,等. 矿区侵蚀土壤的微生物活性及其群落功能多样性研究[J]. 水土保持学报,2003,17(1):115-118.
- [30] 张国红,任华中,高丽红,等. 京郊日光温室土壤微生物状况和酶活性[J]. 中国农业科学,2005,38(7):1447-1452.