

李静, 何时雨, 刘世伟, 林希昊, 郑永清, 刘青. 木薯叶化感作用对土壤养分、酶活性的影响研究 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(3): 11-16.

木薯叶化感作用对土壤养分、酶活性的影响研究

李 静¹, 何时雨¹, 刘世伟², 林希昊¹, 郑永清¹, 刘 青¹

(1. 中国热带农业科学院广州实验站, 广东 广州 510140;

2. 华南农业大学资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】研究木薯叶化感作用对木薯根际土壤养分、酶活性的影响。【方法】采用大田试验, 以食用木薯品种华南9号为试验品种, 设置不同浓度木薯叶浸提液, 在不同处理期比较分析木薯根际土壤养分、酶活性大小。【结果】木薯叶化感作用对pH影响不大; 有机质含量受处理时间影响不大, 但随处理浓度的增高呈现先升高后降低的趋势, 最高值时处理浓度为0.05 g/mL, 有机质含量在处理1、2、4个月分别为41.14、52.20、36.22 g/kg; 土壤碱解氮、有效磷表现出与有机质相似的趋势, 都是随处理浓度的增高呈现先升高后降低的趋势, 最高值时处理浓度为0.05 g/mL, 处理1、2、4个月其含量分别为143.21、204.83、127.88 mg/kg (碱解氮) 和229.03、316.40、235.99 mg/kg (有效磷); 有效钾含量处理1个月最高值出现在0.1 g/mL浓度, 为675.16 mg/kg, 处理2个月和4个月最高值出现在0.05 g/mL浓度, 分别为819.35、665.38 mg/kg。化感作用会整体提高土壤酶活性, 脲酶活性最高出现在0.1 g/mL浓度, 处理1、2、4个月脲酶NH₄⁺-N活性分别为467、503、408 mg/kg; 土壤酸性磷酸酶P₂O₅活性和土壤过氧化氢酶(KMnO₄滴定法)活性最高出现在0.05 g/mL浓度, 处理1、2、4个月其活性分别为106、143、134 mg/kg (土壤酸性磷酸酶) 和6.53、6.71、5.24 mg/kg (土壤过氧化氢酶)。【结论】木薯叶化感作用对土壤养分及酶活性都具有影响, 可以进一步利用其作为园区杂草控制的措施。

关键词: 化感作用; 土壤; 木薯; 生态系统; 杂草控制

中图分类号: S533

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X (2019) 03-0011-06

Study on the Effect of Cassava Leaf Allelopathy on Soil Nutrient and Enzyme Activity

LI Jing¹, HE Shiyu¹, LIU Shiwei², LIN Xihao¹, ZHENG Yongqing¹, LIU Qing¹

(1. Guangzhou Experimental Station, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Guangzhou 510140, China ;

2. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】 The experiment was conducted to explore the effect of cassava leaf allelopathy on nutrients and enzyme activities in the rhizosphere soil of cassava. 【Method】 The field experiment was designed by using edible cassava variety “SC9” as tested variety and treating cassava leaf extracts with different concentration to explore the nutrients and enzyme activities of cassava rhizosphere soil in different treatment periods. 【Result】 The cassava leaf allelopathy showed little effect on pH larger. The organic matter content was hardly affected by treatment time. However, it increased first and then decreased with the increase of treatment concentration and reached the highest value when the treatment concentration was 0.05 g/mL, with the organic matter contents of 41.14 g/kg (one month treatment), 52.20 g/kg (two month treatment) and 36.22 g/kg (four month treatment), respectively. Soil available nitrogen and available phosphorus content showed a similar trend with organic matter content. The available nitrogen content reached the highest

收稿日期: 2018-12-19

基金项目: 广州市科技计划项目(201607010287); 中国热带农业科学院院本级基本科研业务费专项(160032015010); 海南省自然科学基金(317224)

作者简介: 李静(1981—), 女, 博士, 副研究员, 研究方向为植物生理生态学, E-mail: lijingip@126.com

value when the treatment concentration was 0.05 g/mL, with the contents of 143.21 mg/kg (one month treatment), 204.83 mg/kg (two months treatment) and 127.88 mg/kg (four months treatment), respectively. The available phosphorus content got the highest value when the treatment concentration was 0.05 g/mL, with the contents of 229.03 mg/kg (one month treatment), 316.40 mg/kg (two months treatment) and 235.99 mg/kg (four months treatment), respectively. The highest effective potassium content was 675.16 mg/kg (one month treatment) when treated at the concentration of 0.1 g/mL, while its highest contents were 819.35 mg/kg (two months treatment) and 665.38 mg/kg (four months treatment) respectively when treated at the concentration of 0.05 g/mL. Generally, allelopathy could increase soil enzyme activities. The highest urease activity was obtained at the treatment concentration of 0.1 g/mL, and the urease NH_4^+-N were 467 mg/kg (one month treatment), 503 mg/kg (two months treatment) and 408 mg/kg (four months treatment), respectively. The activities of soil acid phosphatase P_2O_5 and catalase reached the highest at the concentration of 0.05 g/mL. The acid phosphatase activities were 106 mg/kg (one month treatment), 143 mg/kg (two months treatment) and 134 mg/kg (four months treatment), respectively. The activities of catalase were 6.53 mg/kg (one month treatment), 6.71 mg/kg (two months treatment) and 5.24 mg/kg (four months treatment), respectively. 【Conclusion】 The cassava leaf allelopathy had effect on the soil nutrition and the enzyme activities, and allelopathy could be used as a measure for weed control in the cassava field.

Key words: allelopathy; soil; cassava; ecosystem; weed control

【研究意义】土壤是植物生长的基本基质，也是植物种间关系的介质，土壤的分解活动能够改变养分矿化速率，影响内部养分含量及酶活性，进而影响整个植物群落^[1]。杂草会造成生态系统破坏，降低作物产量，造成经济损失，土壤环境影响农田杂草的种类和数量^[2]。植物分泌化感物质会改变土壤理化性质、酶活性和微生物群落结构，进而影响周边其他植物的吸收和生长^[3-5]，研究化感作用对土壤养分、酶活性的影响对于揭示植物之间的相互作用及利用作为杂草控制具有重要意义。【前人研究进展】研究发现，酚酸类化感物质会直接影响土壤生态系统营养元素的循环^[6-7]，土壤中化感物质阿魏酸浓度增加，会降低土壤微生物数量，土壤酶活性以及土壤养分包括有机质、铵态氮、有效磷和速效钾含量^[8]。香草醛和对羟基苯甲酸能够降低土壤有效氮和速效钾的含量，萜类化感物质也能改变营养循环速率，特别是氮和碳源物质的循环速率^[9-10]。邵凤娇等^[11]发现，外来入侵植物苍耳水提液处理能够显著提高土壤速效氮和速效钾的含量，并且增加土壤脲酶和蔗糖酶的活性；吕可等^[12]研究发现，花椒叶水浸液会使根际土蛋白酶、蔗糖酶和酸性磷酸酶活性明显低于非根际土相应的酶活性，而过氧化氢酶和多酚氧化酶活性则显著升高。香樟凋落物分解能够明显改变土壤氮营养状况，对受体植物辣椒的生长、生殖光合生理和活性氧代谢起到明显的干扰作用^[13]。广藿香连作化感作用对土壤产生的影响会进一步影响其本身扦插苗不定根的形成和发展^[14]；地黄的连作障碍是一个涉及

植物、土壤、微生物等多种生物及环境因素共同作用的过程^[15]。化感作用可以改变土壤微生物群落结构，影响土壤酶的种类、活性以及土壤养分的有效性，从而进一步影响植物的吸收利用^[16]。

【本研究切入点】木薯叶具有化感作用^[17]，而化感作用是植物通过向环境释放化学物质而对其他植物产生影响，利用化感作用能够进行自然杂草控制^[18]。木薯种植过程中会产生大量的木薯叶，而这些木薯叶大部分以凋落物形式进入土壤，为此，本研究就木薯化感作用对土壤养分、酶活性的影响进行研究。【拟解决的关键问题】本研究设计不同的木薯叶浸提液浓度处理木薯园土壤，在不同的处理期采集土壤，选择土壤养分（pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾）和酶活性（脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶）评价木薯叶化感对土壤的影响，旨在揭示化感作用通过影响土壤指标在杂草控制上起作用的可能性。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验木薯园种植品种为可食用木薯品种华南9号，由中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所培育，于2018年4月底开始种植于避雨大棚，试验地点设在广州市花都区花东镇四联村中国热带农业科学院广州实验站基地，种植前土壤打碎混匀，保证种植起始条件均匀一致。

1.2 试验方法

选取植株中部生长无虫瘿的成熟叶片，将收

获的木薯叶片于阴凉处放置，随时翻动，直至阴干。设置3种不同浓度的水提液（0.025、0.05、0.1 g/mL）（以干重计）处理，以不浇浸提液为对照。3次重复，小区面积9 m²（3 m×3 m），种植株行距（1 m×1 m）每个小区均为4株（3 m）×4株（3 m）。小区土壤上层20 cm打碎混匀，太阳能高温暴晒2周消毒。每个地块底层于40 cm处理入防雨布用于防止各地块间水提液渗透。将木薯叶片用剪刀剪成2 cm×2 cm以下大小，于蒸馏水中浸提24 h，然后用纱布过滤，制作0.025、0.05、0.1 g/mL 3种浓度浸提液。在木薯生长期7月中旬开始进行水提液处理，整个处理期为4个月，每周浇灌浸提液1次，每株浇灌500 mL。处理1个月（8月17日）、2个月（9月17日）、4个月（11月20日）分别采集3次土壤样品进行测定。

土壤采集采用传统挖掘法，采集小区中央4株木薯根围附近土壤（0~20 cm）五点混合，避开边缘株，每个小区土壤混合作为一个样品。参照《土壤农业化学分析方法》^[19]土壤pH值用pH计测定；有机质用重铬酸钾容量法-外加加热法测定；碱解氮含量采用碱解扩散法测定；有效磷采用盐酸-氟化铵提取-钼锑抗比色法；速效钾采用乙酸铵提取-火焰原子吸收分光光度法；土壤脲酶采用比色法；土壤磷酸酶采用磷酸苯二钠比色法；过氧化氢酶活性采用容量法测定。

数据统计采用SPSS11.5一元方差分析（LSD法），采用Microsoft Excel 2000软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 木薯叶化感对木薯根际土壤养分的影响

2.1.1 土壤pH和有机质含量 土壤pH能影响植物对其他养分的吸收，进而影响其他植物生长及整个群落组成。整体来看，施用木薯叶浸提液pH稍微有所增高，但差异不显著。可见，木薯叶化感作用对土壤pH影响不大（表1）。

表1 木薯叶化感作用对土壤pH的影响

Table 1 Effects of cassava leaf allelopathy on soil pH

浓度 Concentration (g/mL)	处理1个月 One month treatment	处理2个月 Two months treatment	处理4个月 Four months treatment
0	5.16 ± 0.37b	5.65 ± 0.72ab	6.11 ± 0.15ab
0.025	6.05 ± 0.43ab	5.32 ± 0.02b	5.75 ± 0.02b
0.05	6.62 ± 0.16a	6.93 ± 0.04a	6.72 ± 0.24a
0.1	6.84 ± 0.02a	6.81 ± 0.10a	6.50 ± 0.08a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: The different lowercase letters in the same column represent significant differences.

木薯根际土壤在施用木薯叶浸提液处理后，有机质含量随木薯叶浸提液浓度的增加产生变化，有机质含量随浓度的升高整体呈现先升高后降低的趋势（表2）。土壤有机质是评价土壤质量的重要指标，从测定结果可以看到，适当浓度（0.05 mg/mL）的木薯叶浸提液化感作用有助于土壤有机质的释放，有机质含量要显著高于对照，处理1、2、4个月分别比对照高223%、165%和145%。而高浓度（0.1 mg/mL）的化感浸提液处理则会对有机质的释放起到阻碍作用。

表2 木薯叶化感作用对土壤有机质含量的影响

Table 2 Effects of cassava leaf allelopathy on soil organic content (g/kg)

浓度 Concentration (g/mL)	处理1个月 One month treatment	处理2个月 Two months treatment	处理4个月 Four months treatment
0	12.71 ± 0.66d	19.68 ± 3.86c	14.76 ± 2.43b
0.025	18.22 ± 2.86c	12.78 ± 0.19c	12.47 ± 0.61b
0.05	41.14 ± 0.36a	52.20 ± 1.28a	36.22 ± 7.13a
0.1	34.77 ± 1.50b	33.87 ± 2.77b	33.17 ± 0.24a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: The different lowercase letters in the same column represent significant differences

2.1.2 土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量 土壤碱解氮表现出与有机质含量相似的结果（表3），适当浓度（0.05 mg/mL）的木薯叶浸提液化感作用能够增加土壤碱解氮含量，高浓度（0.1 mg/mL）的浸提液则会降低土壤碱解氮含量。处理1个月0.025、0.05、0.1 mg/mL浓度浸提液处理土壤碱解氮含量分别比对照高28.99%、135.09%和129.87%。处理2个月低浓度（0.025 mg/mL）处理碱解氮含量有所降低，但0.05、0.1 mg/mL处理比对照分别高70.77%和23.76%。处理4个月表现与处理2个月相似的趋势，0.025 mg/mL处理碱解氮含量稍微有所下降，但与对照差异不显著。0.05、0.1 mg/mL处理比对

表3 木薯叶化感作用对土壤碱解氮含量的影响

Table 3 Effects of cassava leaf allelopathy on soil alkaline nitrogen content (mg/kg)

浓度 Concentration (g/mL)	处理1个月 One month treatment	处理2个月 Two months treatment	处理4个月 Four months treatment
0	60.92 ± 13.09b	119.94 ± 1.51b	77.31 ± 12.34ab
0.025	78.57 ± 11.97b	66.89 ± 2.86c	55.78 ± 4.48b
0.05	143.21 ± 1.32a	204.83 ± 13.19a	127.88 ± 13.67a
0.1	140.03 ± 15.48a	148.44 ± 21.82b	107.54 ± 9.57a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: The different lowercase letters in the same column represent significant differences.

照分别高 65.41% 和 39.09%。

土壤有效磷能够反映土壤的供磷水平，整体来看，木薯浸提液化感作用能够显著提高土壤的供磷水平（表 4），在浸提液浓度为 0.05 mg/mL 时，处理 1 个月和 2 个月有效磷含量分别比对照高 307.52% 和 47.85%。处理 4 个月各处理与对照之间差异不显著，有效磷含量基本处于稳定。因此，在木薯的特定生长期，木薯叶化感作用能够影响土壤的有效磷含量。

表 4 木薯叶化感作用对土壤有效磷含量的影响
Table 4 Effects of cassava leaf allelopathy on soil effective phosphorus content (mg/kg)

浓度 Concentration (g/mL)	处理 1 个月 One month treatment	处理 2 个月 Two months treatment	处理 4 个月 Four months treatment
0	56.20 ± 11.00b	214.00 ± 6.72b	177.03 ± 2.87a
0.025	37.44 ± 5.95b	123.00 ± 0.12c	223.33 ± 2.87a
0.05	229.03 ± 3.11a	316.40 ± 5.72a	235.99 ± 66.33a
0.1	208.69 ± 11.32a	193.40 ± 28.82b	135.15 ± 15.80a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: The different lowercase letters in the same column represent significant differences.

木薯叶化感作用整体上提高土壤速效钾含量，无论是处理 1 个月、2 个月还是 4 个月，化感作用对土壤速效钾含量影响显著（表 5）。处理 1 个月土壤速效钾含量随木薯叶浸提液浓度的升高而升高，且达到显著差异，0.025、0.05、0.1 mg/mL 浓度浸提液处理分别比对照高 147.25%、206.81% 和 264.88%。处理 2 个月土壤速效钾含量随浸提液浓度呈先升高后下降的趋势，各浓度处理分别比对照高 41.28%、71.69% 和 34.73%。处理 4 个月各浓度处理之间土壤速效钾含量差异显著，但比处理 2 个月速效钾含量要低，可能是由于木薯生长吸收土壤养分导致土壤速效钾含量降低。

表 5 木薯叶化感作用对土壤有效钾含量的影响
Table 5 Effects of cassava leaf allelopathy on soil effective potassium content (mg/kg)

浓度 Concentration (g/mL)	处理 1 个月 One month treatment	处理 2 个月 Two months treatment	处理 4 个月 Four months treatment
0	185.04 ± 2.04c	477.24 ± 2.82c	356.24 ± 19.11b
0.025	457.51 ± 3.87b	674.25 ± 7.46b	146.30 ± 23.55c
0.05	567.73 ± 28.78ab	819.35 ± 14.49a	665.38 ± 66.28a
0.1	675.16 ± 65.45a	642.97 ± 16.60b	399.63 ± 52.93b

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: The different lowercase letters in the same column represent significant differences.

2.2 木薯叶化感对土壤酶活性的影响

2.2.1 土壤脲酶活性 土壤脲酶能够促进肽键的水解，脲酶活性与土壤微生物数量，有机质含量和速效氮呈正相关关系，参与土壤含氮有机化合物的转化，活性强度常用来表示土壤氮素供应强度和氮素的有效化水平。因此，测定土壤脲酶活性具有重要的意义。由表 6 可知，脲酶活性在用木薯叶浸提液处理 1 个月、2 个月、4 个月表现出来的趋势不同，但整体看来，化感作用提高土壤脲酶活性。低浓度（0.025 mg/mL）浸提液对土壤脲酶活性影响不大，随浸提液浓度升高脲酶活性增强。0.05 和 0.1 mg/mL 浓度下脲酶活性在处理 1 个月时分别比对照高 74.49% 和 155.56%；处理 2 个月时比对照高 82.13% 和 243.69%；处理 4 个月时分别比对照高 163.08% 和 235.82%。

表 6 木薯叶化感作用对土壤脲酶 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 活性的影响
Table 6 Effects of cassava leaf allelopathy on soil urease $\text{NH}_4^+\text{-N}$ activity (mg/kg)

浓度 Concentration (g/mL)	处理 1 个月 One month treatment	处理 2 个月 Two months treatment	处理 4 个月 Four months treatment
0	183.03 ± 16.01c	146.63 ± 4.14b	121.53 ± 4.03c
0.025	150.77 ± 13.73c	158.40 ± 27.06b	166.07 ± 19.28c
0.05	319.37 ± 12.62b	267.07 ± 30.11b	319.73 ± 7.12b
0.1	467.77 ± 43.70a	503.97 ± 32.36a	408.13 ± 33.26a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: The different lowercase letters in the same column represent significant differences.

2.2.2 土壤酸性磷酸酶活性 酸性磷酸酶活性与土壤有效磷含量呈正相关关系，能够酶促分解土壤含磷化合物。从表 7 可以看出，木薯叶浸提液处理 1 个月对土壤酸性磷酸酶活性影响不大，各处理之间差异不显著。处理 2 个月和 4 个月其化感作用整体促进土壤酸性磷酸酶活性，并且处理

表 7 木薯叶化感作用对土壤酸性磷酸酶 P_2O_5 活性的影响
Table 7 Effects of cassava leaf allelopathy on soil acid phosphatase P_2O_5 activity (mg/kg)

浓度 Concentration (g/mL)	处理 1 个月 One month treatment	处理 2 个月 Two months treatment	处理 4 个月 Four months treatment
0	118.13 ± 14.04a	66.33 ± 4.02c	71.50 ± 8.87c
0.025	92.30 ± 3.29a	96.70 ± 7.85b	73.37 ± 5.09c
0.05	106.07 ± 13.58a	143.90 ± 1.37a	134.63 ± 8.06b
0.1	100.30 ± 2.26a	140.33 ± 1.07a	188.53 ± 19.46a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: The different lowercase letters in the same column represent significant differences.

结果显著高于对照。中浓度 (0.05 mg/mL) 和高浓度 (0.1 mg/mL) 浸提液处理能够显著提高土壤酸性磷酸酶活性。

2.2.3 土壤过氧化氢酶活性 土壤过氧化氢酶能够促进土壤多种化合物的氧化, 有利于防止过氧化氢积累对生物体的毒害。整体来讲, 随着化感作用增强, 土壤过氧化氢酶活性增强 (表 8)。处理 1 个月 3 种浓度木薯叶浸提液能显著提高土壤过氧化氢酶活性, 且浓度越大, 活性越强, 3 种浓度处理后过氧化氢酶活性分别比对照高 74.56%、244.55% 和 242.33%。处理 2 个月低浓度 (0.025 mg/mL) 处理过氧化氢酶活性与对照差异不大, 中高浓度 (0.05、0.1 mg/mL) 处理显著增强土壤过氧化氢酶活性, 分别比对照高 468.89%、327.32%。处理 4 个月后, 浸提液浇灌土壤的过氧化氢酶活性中高浓度 (0.05、0.1 mg/mL) 分别比对照高 142.58%、135.97%。

表 8 木薯叶化感作用对土壤过氧化氢酶活性的影响
Table 8 Effects of cassava leaf allelopathy on catalase activity (mL/g)

浓度 Concentration (g/mL)	处理 1 个月 One month treatment	处理 2 个月 Two months treatment	处理 4 个月 Four months treatment
0	1.89 ± 0.36c	1.18 ± 0.09c	2.16 ± 0.05b
0.025	3.31 ± 0.68b	1.92 ± 0.43c	2.74 ± 0.29b
0.05	6.53 ± 0.14a	6.71 ± 0.69a	5.24 ± 0.37a
0.1	6.49 ± 0.23a	5.04 ± 0.45b	5.10 ± 0.02a

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著。

Note: The different lowercase letters in the same column represent significant differences.

3 讨论

植物所生长的环境因素与土壤化感作用密切相关, 化感作用能够影响土壤养分和其他因素的有效性^[20]。本研究中木薯叶片浸提液处理土壤能够对土壤养分、酶活性产生影响, 浸提液浓度变化对土壤指标也起到较大作用, 因而木薯叶化感作用对土壤养分及酶活性的影响有可能被利用成为木薯园生态系统杂草控制的潜力因素。植物分泌化感物质能够进行着各种生物化学过程, 改变土壤微生物区系, 影响土壤微生物酶活性^[21], 整体改变土壤环境因素, 进而影响与其共生的其他植物生长乃至整个生态系统的组成。已有大量的研究结果证实, 如花椒凋落物释放的酚酸类化感物质会改变土壤微生态环境和化学性质, 降低

土壤铵态氮的含量, 加速土壤有机磷和碳素的循环^[22]。豆科植物也能被土壤化感作用影响, 根系微生物种类的共生和结瘤, 对豆科植物氮固定具有很大的影响。木薯生长过程中产生大量木薯叶, 所含的化感物质属于一种天然的除草剂, 来自于植物体, 是环境长期选择的结果, 通过植物化感作用影响土壤环境对杂草的控制效果是进行农业生态系统管理的重要方法, 不会对环境造成不利影响, 是农业中极具开发价值的环保型农药^[23-24]。

4 结论

本研究结果表明, 木薯浸提液化感作用对土壤养分指标除 pH 外, 对其他指标均有不同程度影响。其中有机质和碱解氮含量随着浸提液浓度的大小先升高后降低, 中高浓度浸提液能显著提高土壤有效磷和速效钾含量。木薯叶浸提液化感作用会提高土壤酶活性, 中高浓度整体上能显著提高土壤脲酶, 酸性磷酸酶和过氧化氢酶活性。因此, 木薯叶化感作用能够对土壤环境产生影响, 有可能进一步在农田杂草控制上具有一定的应用潜能。

参考文献 (References):

- [1] 李静, 李志阳, 陈秀龙, 马帅鹏, 杨之曦, 覃新导. 不同施肥处理对木薯园土壤养分、酶活性及木薯生长的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (36): 216-221.
LI J, LI Z Y, CHEN X L, MA S P, YANG Z X, QIN X D. Effect of Fertilization on Soil Nutrition, Enzyme Activities and Plant Growth of Cassava Field [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(36): 216-221.
- [2] 虞依娜, 彭少麟, 黎建力, 黄景波, 林海佳, 叶有华, 黎建勇. 西樵山国家森林公园有害植物现状分析 [J]. 生态环境学报, 2009, 18 (1): 299-305.
YU Y N, PENG S L, LI J L, HUANG J B, LIN H J, YE Y H, LI J Y. The present situation of the harmful plant in Xiqiao mountain National Forest Park [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(1): 299-305.
- [3] BATISH D R, SINGH H P, PANDHER J K, ARORA V, KOHLI R. Phytotoxic effect of Parthenium residues on the selected soil properties and growth of chickpea and radish [J]. *Weed Biology and Management*, 2010, 2(2): 73-78. doi: 10.1046/j.1445-6664.2002.00050.x.
- [4] OLIVA A, LAHOZ E, CONTILO R, ALIOTTA G. Effects of *Ruta graveolens* leaves on soil characteristics and on seed germination and early seedling growth of four crop species [J]. *The Annals of applied biology*, 2002, 141(1): 87-91. doi: 10.1111/j.1744-7348.2002.tb00199.x.
- [5] 王亚男, 李睿玉, 朱晓换, 马丹炜, 张红. 土荆芥挥发油化感胁迫对土壤胞外酶活性和微生物多样性的影响 [J]. 生态学报, 2017, 37 (13): 4318-4326.
WANG Y N, LI R Y, ZHU X H, MA D W, ZHANG H. Allelochemical stress effects of volatile oils from *Chenopodium ambrosioides* on

- extracellular enzyme activities and soil microbial diversity [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(13): 4318–4326.
- [6] INDERJIT, MALIK A U. Effect of phenolic compounds on selected soil properties [J]. *For Ecol Manage*, 1997, 92: 11–18. doi:10.1016/s0378-1127(96)03957-6.
- [7] NORTHUP R R, YU Z S, DALIGREN R A, VOGT K A. Polyphenol control of nitrogen release from pine litter [J]. *Nature*, 1995, 377: 277–229. doi:10.1038/377227a0.
- [8] 李春龙, 韩春梅, 叶少平, 张新全. 外源化感物质阿魏酸对紫云英幼苗生长、根际土壤酶活性、微生物数量及土壤养分的影响 [J]. *江苏农业科学*, 2017, 45 (4) : 134–137.
LI C L, HAN C M, YE S P, ZHANG X Q. Influences of ferulic acid on *Astragalus sinicus* seedling growth, rhizosphere soil enzyme activity, microbial population and soil nutrient [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(4): 134–137.
- [9] 陈龙池, 廖利平, 汪思龙. 根系分泌物生态学研究 [J]. *生态学杂志*, 2002, 21 (1) : 19–22.
CHEN L C, LIAO L P, WANG S L. A review for research of root exudates ecology [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2002, 21(1): 19–22.
- [10] 肖辉林, 彭少麟, 郑煜基, 莫江明, 罗薇, 曾晓舵, 何小霞. 植物化感物质及化感潜力与土壤养分的相互影响 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17 (9) : 1747–1750.
XIAO H L, PENG S L, ZHENG Y J, MO J M, LUO W, ZENG X D, HE X X. Interactive effects between plant allelochemicals, plant allelopathic potential and soil nutrients [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1747–1750.
- [11] 邵凤娇, 朱珣之, 韩彩霞, 张弛, 邵华. 外来入侵植物意大利苍耳对土壤微生物群落、土壤酶活性和土壤养分的影响 [J]. *生态科学*, 2016, 4: 71–78.
TAI F J, ZHU X Z, HAN C X, ZHANG C, SHAO H. Effects of aqueous extract of the increase plant *Xanthium Italian Moretti* on soil microbial community, soil enzyme activity and soil nutrient [J]. *Ecological Science*, 2016, 4: 71–78.
- [12] 吕可, 潘开文, 王进闯, 万涛. 花椒叶浸提液对土壤微生物数量和土壤酶活性的影响 [J]. *应用生态学报*, 2006, 17 (9) : 1649–1654.
LU K, PAN K W, WANG J C, WAN T. Effects of *Zanthoxylum bungeanum* leaf extract on soil microbe quantity and enzyme activities [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1747–1750.
- [13] 陈洪, 马光良, 王光剑, 李呈翔, 蒋雪, 王锐, 胡庭兴. 香樟凋落叶分解对辣椒及土壤氮营养的限制作用 [J]. *西北植物学报*, 2016, 36 (1) : 106–115.
CHEN H, MA G L, WANG G J, LI C X, JIANG X, WANG R, HU T X. Limitation of Allelopathic *Cinnamomum camphora* leaf litter on nitrogen nutrition in *Capsicum annuum* and Soil [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, 36(1): 106–115.
- [14] 唐堃, 李明, 赵盼, 董闪, 赵冬, 潘雪峰. 广藿香连作土壤对其扦插苗扦插生根的化感作用 [J]. *广东农业科学*, 2014, 41 (6) : 85–88. doi: 10.16768/j.issn.1004–874X.2014.06.021.
TANG K, LI M, ZHAO P, DONG S, ZHAO D, PAN X F. Allelopathy effects of continuous cropping soil on the rooting and growth of stem cuttings in *Pogostemon cablin* [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41 (6) : 85–88. doi: 10.16768/j.issn.1004–874x.2014.06.021.
- [15] 张咏梅, 周国逸, 吴宁. 土壤酶学的研究进展 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2004, 12 (1) : 83–90.
ZHANG Y M, ZHOU G Y, WU N. A review of studies on soil enzymology [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2004, 12(1): 83–90.
- [16] 李晶晶, 李烜桢, 张宝, 冯法节, 曹晓风, 李振方, 张重义. 不同来源地黄化感物质对土壤微生物功能多样性的影响 [J]. *广东农业科学*, 2014, 41 (10) : 48–54. doi: 10.16768/j.issn.1004–874X.2014.10.027.
LI J J, LI X Z, ZHANG B, FENG F J, CAO X F, LI Z F, ZHANG C Y. Effects of allelochemicals from different parts of *Rehmannia glutinosa* L. on the functional diversity of microbial flora in soil [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41 (10) : 48–54. doi: 10.16768/j.issn.1004–874x.2014.10.027.
- [17] HUANG J H, FU R, LIANG C X, DONG D F. Allelopathy effects of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) on radish (*Raphanus sativus* L.) and ryegrass (*Lolium perenne* L.) [J]. *Allelopathy Journal*, 2010, 25(1): 155–162. doi: 10.2134/agronj2009.0183
- [18] MUBEEN K, NADEEM M A, TANVEER A, ZAHIR Z A. Allelopathic effects of sorghum and sun flower water extracts on germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.) and three weed species [J]. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 2012, 22(3): 738–746.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2000.
LU R K. Soil Agrochemistry Analysis Method [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [20] 李秋玲, 肖辉林. 土壤性质及生物化学因素与植物化感作用的相互影响 [J]. *生态环境学报*, 2012, 21 (12) : 2031–2036. doi:10.16258/j.cnki.1674–5906.2012.12.013.
LI Q L, XIAO H L. The interactions of soil properties and biochemical factors with plant allelopathy [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(12): 2031–2036. doi:10.16258/j.cnki.1674–5906.2012.12.013.
- [21] Schimel J P, Cleve K V, Cates R G, Clausen T P, Reichardt P B. Effects of balsam poplar (*Populus balsamifera*) tannins and low molecular weight phenolics on microbial activity in taiga floodplain soil: implications for changes in N cycling during succession [J]. *Canadian Journal of Botany*, 1996, 74: 84–90. doi:10.1139/b96–012.
- [22] 梁晓兰, 潘开文, 王进闯. 花椒凋落物分解过程中酚酸的释放动态及其浸提液对土壤化学性质的影响 [J]. *生态学报*, 2008, 28 (10) : 4676–4684.
LIANG X L, PAN K W, WANG J C. Releasing dynamics of phenolic acid during *Zanthoxylum bungeanum* litter decomposition and effects of its aqueous extract on soil chemical properties [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 4676–4684.
- [23] Vyvyan J R. Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals [J]. *Tetrahedron*, 2002, 58: 1631–1646. doi:10.1016/S0040–4020(02)00052–2.
- [24] 王建国, 李拥军, 戴展都, 谢文琼. 微甘菊化感物质的分离与鉴定 [J]. *河南农业科学*, 2013, 42 (11) : 102–105.
WANG J G, LI Y J, DAI Z D, XIE W Q. Isolation and Identification of allelochemicals from *Mikania micrantha* [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2013, 42(11): 102–105.