

不同栽培模式对生姜大田土壤酶活性及土壤养分的动态影响

韩春梅¹, 李春龙¹, 叶少平¹, 潘开文², 吴宁², 李伟²

(1. 成都农业科技职业学院 现代农业分院, 四川 成都 611130; 2. 中国科学院 成都生物研究所, 恢复生态学重点实验室, 四川 成都 610041)

摘要:以“犍为黄口姜”为试材,通过大田栽培试验,研究了不同栽培模式(生姜单作,生姜与大豆间作,生姜与四季葱间作,生姜与大蒜间作,生姜与大豆、四季葱混作,生姜与大豆、大蒜混作,生姜与四季葱、大蒜混作和生姜与大豆、四季葱、大蒜混作)对生姜大田旺盛生长期和收获期土壤酶活性及土壤养分的影响。结果表明:与生姜单作相比,所有间作系统均在旺盛生长期和收获期不同程度地提高了土壤酶活性;在环境条件相同的情况下,间作模式下生姜的根际土壤养分有效性均高于生姜单作(如有效磷、速效钾和铵态氮),同时间作较单作减少了土壤中硝态氮的积累;并且部分土壤酶活性与土壤养分之间呈正相关性,如土壤蛋白酶、蔗糖酶活性与土壤有效磷含量呈正相关,反硝化酶活性与土壤有机质、土壤速效钾含量呈正相关,土壤酸性磷酸酶、纤维素酶及多酚氧化酶活性与土壤速效钾含量呈正相关。

关键词:栽培模式;生姜;土壤酶活性;土壤养分

中图分类号:S 632.506⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)04-0163-05

长期单作容易引起土壤病害,如土壤微生物多样性失衡、植物释放毒素的累积和土壤中植物残株的分解^[1-3]。复合群体中,2种或2种以上的作物之间,以及作物与土壤生态系统中的生物之间必然存在相互影响,这些复杂关系中,通过作物的分泌物(或残株分解)对不同生物产生的化感作用是十分重要的生态作用之一,也是复合群体极具潜力的调节途径之一。

间作不仅可以提高作物产量,还可减少土壤中硝态氮的积累及氮素的投入^[4-5]。产量的提高与间作物种养分的吸收密切相关^[6-7],间作有利于作物对土壤养分的吸收利用^[8-10],并具有通过提高土壤酶活性而增产的潜力^[11-13]。豆科作物与非豆科作物间作增加了其对土壤中有效磷的吸收^[14],也能增加其对土壤中氮素的吸收^[15-16];玉米/大豆、高粱/大豆、高粱/向日葵及玉米/水

稻间作系统均增加了其对土壤中速效钾的吸收^[6];深耕(如鹰嘴豆)与浅作(如大豆)的作物搭配还可以提高养分(尤其是深土层中的N、P元素)的循环利用,进而提高最上层土中养分的利用效率,并可以防止养分向深土层的渗漏^[17-21]。

由2种或2种以上的作物组成的复合群体,当物种间的互补大于竞争时,具有增产潜力,其中通过正化感作用是产生互补的重要途径,但自然界中,物种之间通过根系分泌物(或植物残株分解)产生的化感抑制作用十分普遍。在存在化感效应的复合群体中,研究作物的生长发育、土壤酶活性和土壤养分含量与化感物质的互作关系,对高效调控复合群体具有重要指导价值。该试验主要研究了不同栽培模式在生姜旺盛生长期和收获期对大田土壤酶活性及土壤养分的影响,以期生姜高产高效栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为当地广泛栽培的地方品种“犍为黄口姜”(Zingiber officinale Rosc.)。先将3月底已催芽的姜种掰成小块,每块留一个壮芽约35g,于2006年4月10日播种。

1.2 试验方法

共设计8个处理,分别为1)生姜单作;2)生姜与大

第一作者简介:韩春梅(1977-),女,博士,副教授,高级农艺师,研究方向为植物组织培养。E-mail:hanchunmei@tom.com.

责任作者:潘开文(1965-),男,博士,研究员,博士生导师,现主要从事植物生态与植物化感及生物多样性保护和自然保护区与景观规划等研究工作。E-mail:pankw@cib.ac.cn.

基金项目:国家“十一五”科技攻关子课题资助项目(2006BAC01A15);中科院知识创新工程重大资助项目(KZCX2-XB2-02-01-03)。

收稿日期:2015-11-04

豆间作;3)生姜与四季葱间作;4)生姜与大蒜间作;5)生姜与大豆、四季葱混作;6)生姜与大豆、大蒜混作;7)生姜与四季葱、大蒜混作;8)生姜与大豆、四季葱、大蒜混作,每个模式4次重复。小区面积4 m×12 m,完全随机区组排列。行距40 cm,株距50 cm,小区间隔30 cm,小区周围挖40 cm深沟(用于排水,防止因流水而被姜瘟传染),每个小区11行,每行25株,每小区共275株,种植密度达3 335株/667m²。

在整地前每667 m²撒施石灰100 kg于土面,浅翻入土,起到灭菌消毒的作用。每个小区均匀打窝275个(株距50 cm、行距40 cm),撒施肥料(每小区3.6 kg过磷酸钙、576 g尿素、1.15 kg硫酸钾),然后丢姜种。选择已催芽、肥大饱满、无病菌的姜种(用500倍甲基托布津,并裹新鲜草木灰进行消毒处理)播于窝内,每小区再浸240 kg的人畜粪,然后覆3~5 cm的土(注意姜种不能外露)。于2006年5月20日播种大豆和四季葱,于2006年8月12日播种大蒜,于2006年9月27日收获大豆,其它3种作物于2006年11月17日收获。

取样时间分别为生姜旺盛生长期(2006年8月26日)和收获期(2006年11月17日)。每个土壤样方采用5点取样法,用土钻取大约400 g生姜根际土。即用土钻环绕植株的根际周围钻孔,钻取深度为20 cm,将土样

合并,轻轻抖动后仍然粘在生姜根茎上的土壤作为根际土,装袋、封口并作好标签,立即带回实验室分析处理。

1.3 项目测定

各土壤酶活性的测定均参照关松荫^[22]的方法;土壤养分指标测定方法均参照文献^[23]的方法。

1.4 数据分析

对所测定的指标采用One-way ANOVA分析不同浓度处理之间的差异,平均数之间的多重比较采用LSD检验;对土壤酶活性与土壤养分之间的相互关系进行相关性分析(Pearson Correlation),整个计算过程在SPSS 11.5和Excel 2003软件系统下完成。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式对生姜大田土壤酶活性的动态影响

由图1、2可以看出,与生姜单作(处理1)相比,所有栽培模式无论是在生姜旺盛生长期还是在收获期均提高了6种土壤酶的活性。在生姜的旺盛生长期,所有栽培模式都显著提高了土壤蛋白酶的活性,而到了收获期,只有生姜与大豆间作(处理2)显著提高了土壤蛋白酶的活性(提高了13.4%);与生姜单作相比,处理3、4和8在旺盛生长期显著提高了土壤反硝化酶的活性,其它处理也提高了土壤反硝化酶的活性但不显著,而到了收获期,除了处理3,其它处理均显著提高了土壤反硝化

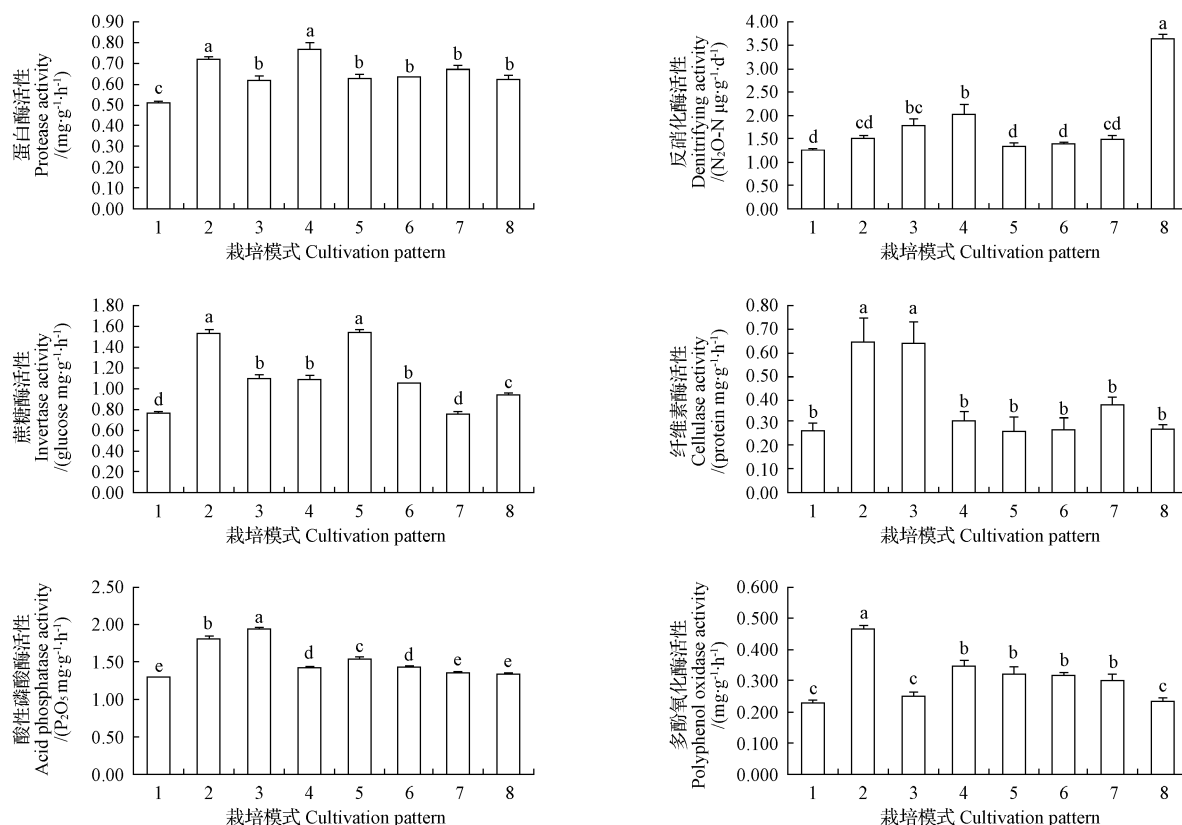


图1 不同栽培模式对旺盛生长期土壤酶活性的影响

Fig. 1 Effect of different cultivation pattern on soil enzymes activities at vigorous growth stage

酶的活性,并且处理 8 反硝化酶的活性在 2 个生长期均达到了最高,分别是处理 1 的 2.89 和 3.53 倍;与生姜单作相比,除了处理 7,其它处理在旺盛生长期均显著提高了土壤蔗糖酶的活性,而到了收获期,只有处理 2、3、5 和 6 显著提高了土壤蔗糖酶的活性;对于纤维素酶来说,不论是在旺盛生长期还是在收获期,只有处理 2 和 3 显著提高了其活性,分别是生姜单作酶活性的 2.50、2.46 倍

(旺盛生长期)和 2.22 和 1.75 倍(收获期);与生姜单作相比,所有栽培模式均显著提高了土壤酸性磷酸酶活性无论是在旺盛生长期(除了处理 7 和 8 不显著外)还是在收获期各处理都显著提高了其活性;而对于多酚氧化酶来说,在旺盛生长期除了处理 3 和 8 外,其它处理均显著提高了其活性,而在收获期,除了处理 7 和 8 外,其它处理均显著提高了其活性。

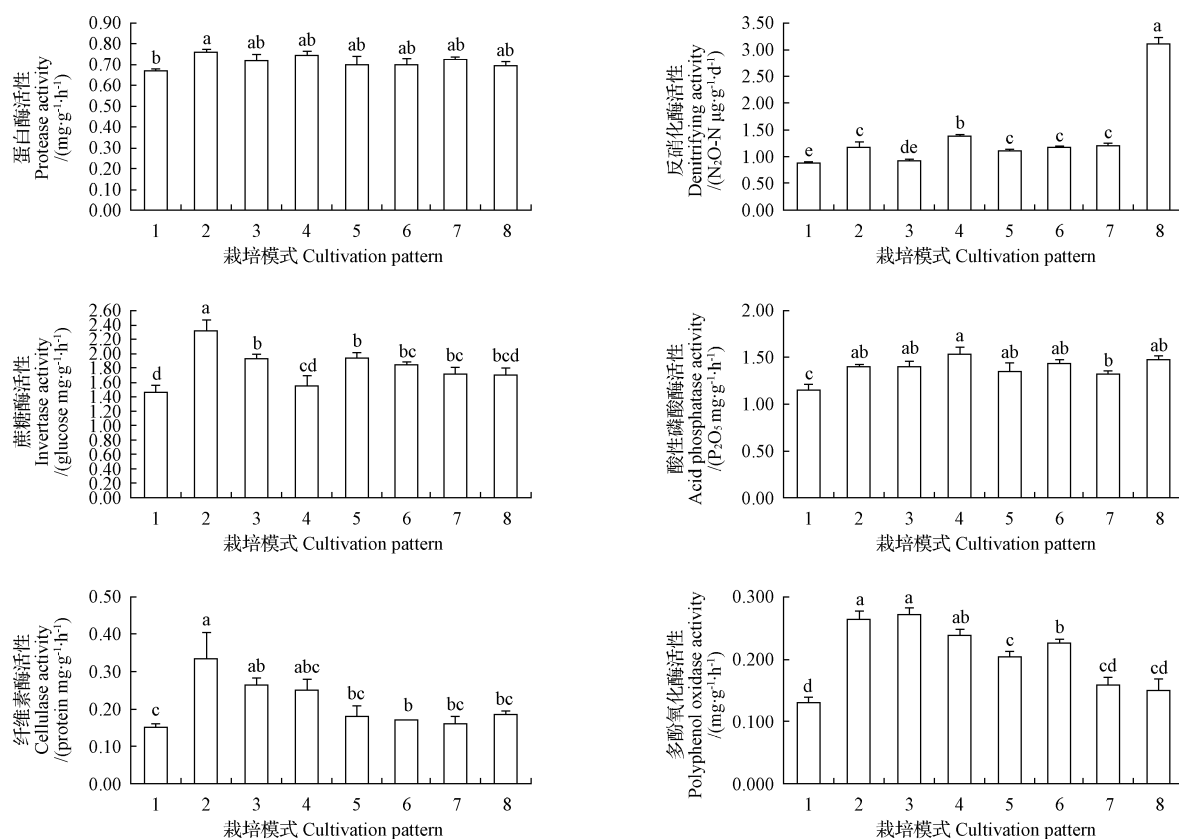


图 2 不同栽培模式对收获期土壤酶活性的影响

Fig. 2 Effect of different cultivation pattern on soil enzymes activities at harvest stage

2.2 不同栽培模式对生姜大田土壤养分的动态影响

由表 1 可知,在旺盛生长期,与生姜单作相比,除了处理 8 增加了 0.07% 的土壤有机质含量外,其它处理均降低了土壤有机质的含量,其中处理 2、3 和 5 显著降低了土壤有机质含量,分别较对照降低了 24.4%、22.6% 和 7.9%;然而到了收获期,除了处理 2、3 和 6 降低了土壤有机质含量但不显著,分别降低了 5.5%、0.6% 和 2.7% 外,其它处理均增加了土壤有机质含量,其中处理 4 和 8 显著增加了土壤有机质的含量,分别较对照增加了 12.2% 和 15.3%。此外,所有处理的有机质含量均随着生长期的延长而降低。

由表 1 可知,与生姜单作相比,只有处理 2 较生姜单作降低了土壤中有效磷的含量但不显著,降低了 2.3%,处理 3、6 和 8 显著增加了土壤中有效磷的含量,分别增加了 27.5%、38.0% 和 37.10% (旺盛生长期);而

在收获期,只有处理 4 较生姜单作降低了土壤中有效磷的含量,降低了 4.2%,而其它处理显著增加了土壤中有效磷的含量(处理 7 和 8 不显著),总体来看,土壤中有效磷的含量均随着生长期的延长而有所增加。

由表 1 可知,与生姜单作相比,其它处理均导致了土壤中速效钾含量的显著增加无论是在旺盛生长期还是在收获期,而旺盛生长期和收获期速效钾的最大值分别出现在处理 6 和处理 2 中,且分别较生姜单作提高了 27.1% 和 51.4%,与土壤有机质含量一样,土壤中速效钾含量也是随着生长期的延长而降低。

由表 1 可知,与生姜单作相比,所有处理均增加了土壤中铵态氮的含量但不显著,无论是在旺盛生长期还是在收获期,除了处理 1、6 和 8 外,其它处理的铵态氮的含量均随着生长期的延长而增加;在旺盛生长期,所有处理间的硝态氮含量差异不显著,除了处理 2、4 和 8 外,

其它处理均较生姜单作提高了土壤中硝态氮含量,而在收获期,所有处理均显著降低了土壤中硝态氮含量(处

理 5 不显著),从旺盛生长期到收获期,除了处理 1、8 外,其它处理的硝态氮含量均有所降低。

表 1 不同栽培模式对生姜大田土壤养分的动态影响

Table 1 Dynamic effect of different cultivation pattern on soil nutrient

处理 Treatment	有机质		有效磷		速效钾		铵态氮		硝态氮	
	Organic matter/(g · kg ⁻¹)		Available P/(mg · kg ⁻¹)		Available K/(mg · kg ⁻¹)		NH ₄ ⁺ -N/(mg · kg ⁻¹)		NO ₃ ⁻ -N/(mg · kg ⁻¹)	
	VGS	HS	VGS	HS	VGS	HS	VGS	HS	VGS	HS
1	41.60a	31.61bc	3.05c	4.51de	93.19d	70.66e	92.82a	90.33a	238.52ab	268.35a
2	31.43c	29.87c	2.98c	6.90a	113.40b	106.95a	126.45a	128.92a	221.04ab	154.07b
3	32.21c	31.42bc	3.89ab	6.33ab	99.23c	96.92c	109.49a	112.64a	263.74ab	178.27b
4	41.02ab	35.48a	3.48abc	4.33e	111.27b	100.82b	97.59a	99.26a	197.12ab	167.00b
5	38.33b	34.05ab	3.72abc	6.26ab	97.88c	91.30d	147.74a	148.86a	286.27a	209.40ab
6	40.71ab	30.76c	4.21a	5.61bc	118.40a	100.03bc	92.26a	91.83a	345.55a	186.95b
7	39.80ab	34.00ab	3.27bc	5.29cd	112.99b	98.91bc	98.39a	101.29a	251.20ab	191.75b
8	41.63a	36.44a	4.18a	5.02cde	110.99b	98.94bc	115.90a	115.26a	121.58b	189.66b

注:VGS代表旺盛生长期,HS代表收获期。

Note: VGS-vigorous growth stage, HS-harvested stage.

2.3 不同栽培模式下土壤酶活性与土壤养分的相关关系

由表 2 可以看出,蛋白酶和蔗糖酶活性均与土壤有机质含量呈极显著负相关;蛋白酶和蔗糖酶活性与有效

磷含量呈极显著正相关,而纤维素酶和多酚氧化酶活性与有效磷含量呈极显著负相关;反硝化酶和酸性磷酸酶活性与速效钾含量呈显著正相关,而纤维素酶和多酚氧化酶活性与速效钾含量呈极显著正相关。

表 2 不同栽培模式下土壤酶活性与土壤养分的相关性分析

Table 2 Person correlation (R) between soil enzyme activity and soil nutrient

土壤酶 Soil enzyme	有机质含量 Organic matter content	有效磷含量 Available P content	速效钾含量 Available K content	铵态氮含量 NH ₄ ⁺ -N content	硝态氮含量 NO ₃ ⁻ -N content
蛋白酶 Protease	-0.394 **	0.410 **	0.133	0.106	-0.279
反硝化酶 Denitrifying enzyme	0.439 **	-0.220	0.352 *	0.035	-0.220
蔗糖酶 Invertase	-0.717 **	0.766 **	-0.256	0.281	-0.274
酸性磷酸酶 Acid phosphatase	-0.200	-0.244	0.334 *	0.168	0.092
纤维素酶 Cellulase	-0.109	-0.392 **	0.389 **	0.138	-0.020
多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	0.125	-0.420 **	0.657 **	0.137	0.180

注: ** 表示在 0.01 水平上的相关性; * 表示在 0.05 水平上的相关性。

Note: ** , correlation is significant at the 0.01 level; * , correlation is significant at the 0.05 level.

3 讨论

土壤酶参与有机质的分解和腐殖质的形成,并且在有机物矿化及碳、氮、硫、磷等各元素的生物循环中起着重要的作用,其活性反映了土壤中进行的各种生物化学过程的动向和强度^[24],它催化土壤中的生物化学反应,影响着土壤养分的形成、积累。

间作体系下生姜根际 6 种土壤酶活性显著高于生姜单作;在环境条件相同的情况下,间作模式下生姜的根际土壤养分有效性都高于生姜单作(如有效磷、速效钾和铵态氮),同时间作较单作减少了土壤中硝态氮的积累(表 1),与刘均霞等^[25]研究结果一致。并且部分酶活性与土壤养分之间呈正相关性,如土壤蛋白酶、蔗糖酶活性与土壤有效磷含量呈正相关,土壤反硝化酶活性与土壤有机质、土壤速效钾含量呈正相关,土壤酸性磷酸酶、纤维素酶及多酚氧化酶活性与土壤速效钾含量呈正相关(表 2),验证了间作可使土壤酶活性增强,土壤养分有效性提高的结论^[26-27]。然而,也有部分土壤酶与土壤养分间呈负相关,与以往研究结果不一致,这可能与

间作物种的种类、特性有关^[28-29]。

间作模式下生姜养分利用率高是因为土壤中有效养分的提高,养分有效性的提高一定程度上是因为土壤中微生物数量和酶活性的提高,有研究报道,养分有效性的提高也受根系分泌物的影响,至于到底是受微生物和酶影响大还是受分泌物影响大还有待进一步的研究。

参考文献

- [1] PUTNAM A R, DUKE W B. Biological suppression of weeds; evidence for allelopathy in accession of cucumber[J]. Science, 1974, 185: 370-372.
- [2] PATRICK Z A. Phytotoxic substances associated with the decomposition of certain plant residues in soil[J]. Soil Science, 1971, 111: 13-18.
- [3] BÖRMER H I. Liberation of organic substances from higher plants and their role in soil sickness problem[J]. The Botanical Review(Lancaster), 1960 (26): 393-424.
- [4] STUELPNAGEL R. Intercropping of faba beans (*Vicia faba* L.) with oats or spring wheat. In: Proceedings of the International Crop Science Congress [M]. Ames, IA: Iowa State University Press, 1993.
- [5] EXNER D N, DAVIDSON D G, GHAFARZADEH M, et al. Yields and returns from strip intercropping on six Iowa farms[J]. American Journal of Alternative Agriculture, 1999(14): 69-77.

- [6] MORRIS R A, GARRITY D P. Resource capture and utilization in intercropping; non-nitrogen nutrients[J]. *Field Crops Research*, 1993, 34: 319-334.
- [7] STERN W A. Nitrogen fixation and transfer in intercrop system[J]. *Field Crops Research*, 1993, 34: 335-356.
- [8] YADAVA R L. Intereropping pigeonpea to conserve fertilizer nitrogen in maize and produce residual effects on sugarcane[J]. *Experimental Agriculture*, 1981(17): 311-315.
- [9] CHATTERJEE B N, MANDAL B K. Present trends in research on intercropping[J]. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 1992, 62(8): 507-518.
- [10] WASAKI J, YAMAMURA T, SHINANO T, et al. Secreted acid phosphatase is expressed in cluster lupin in response to phosphorus deficiency[J]. *Plant Soil*, 2003, 248: 129-136.
- [11] 赵林森, 王九龄, 杨槐混交园中土壤酶活性和土壤养分与生长特性的相互关系研究[J]. *北京林业大学学报*, 1995, 17(4): 1-8.
- [12] 杨丽娟, 须晖, 邱忠祥, 等. 菜园地中土壤酶活性与黄瓜产量的相互关系[J]. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6(6): 113-116.
- [13] 张成娥, 杜社泥, 白岗栓, 等. 黄土源区果园套作对土壤微生物及酶活性的影响[J]. *土壤与环境*, 2001, 10(2): 121-123.
- [14] SHANMUGHAM K. Effect of onion and greengram intercrops on phosphorus release and its uptake by cotton[J]. *Current Science*, 1988, 57: 1128-1130.
- [15] FRANCIS C A. *Multiple Cropping Systems*[M]. New York: Macmillan Press, 1986.
- [16] VANDERMEER J. *The Ecology of Intercropping*[M]. New York: Cambridge University Press, 1989.
- [17] ARIHARA J, AE N, OKADA K. Root development of pigeonpea and chickpea and its significance in different cropping systems[M]. In: JOHANSEN C, LEE K K, SAHRAWAL K L. *Phosphorus Nutrition of Grain Legumes in the Semiarid Tropics*. India: International crops Research Institute for Semiarid Tropics (ICRISAT) Press, 1991.
- [18] ITO O, MATSUNAGA R, TOBITA S, et al. Rooting behavior of intercropped pigeonpea and sorghum[M]. In: KUTCHERA L, HUBL E, LICHTENEGGER E, et al. *Root Ecology and its Practical Application*. Bodenkultur Wien University Press, 1992.
- [19] ITO O, MATSUNAGA R, KATAYAMA K, et al. Spatial distribution of root activity and nitrogen fixation in sorghum/pigeonpea intercropping on an Indian Alfisol[J]. *Plant Soil*, 1993, 155/156: 341-344.
- [20] ITO O, KATAYAMA K, ADU-GYAMFI J J, et al. Root activities and functions in components crops for intercropping[J]. *International Agriculture Series*, 1996, 3: 159-172.
- [21] ADU-GYAMFI J J, TOBITA S, RAO T P, et al. Field evaluation of root distribution and soil solution N in sorghum/pigeonpea intercropping on an Indian Alfisol[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 1993, 37: 35.
- [22] 关松荫. *土壤酶及其研究方法*[M]. 北京: 中国农业出版社, 1983.
- [23] STATE ADMINISTRATION FOR STANDARDS (SAS). *Forest Soil Analysis Method (III), Nutrient Analysis Methods of Forest Soil*[M]. Beijing: Chinese Standards Press, 1988.
- [24] TU C M. Influence of five pyrethroid insecticides on microbial population and activity in soil[J]. *Microbial Ecology*, 1980, 5: 321-327.
- [25] 刘均霞, 陆引罡, 远红伟, 等. 玉米、大豆间作对根际土壤微生物数量和酶活性的影响[J]. *贵州农业科学*, 2007, 35(2): 60-61.
- [26] CASPER B B, JACKSON R B. Plant competition underground[J]. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1997(28): 545-570.
- [27] 李隆, 李晓林, 张副锁, 等. 小麦大豆间作条件下养分吸收利用对间作优势的贡献[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006(2): 140-146.
- [28] JENSEN E S. Grain yield, symbiotic N_2 fixation and interspecific competition for inorganic N in peaberry intercrops[J]. *Plant and Soil*, 1996, 182(1): 25-38.
- [29] LI L, SUN J H, ZHANG F S, et al. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping I Yield advantage and interspecific interactions on nutrients[J]. *Field Crop Research*, 2001, 71: 123-137.

Dynamic Effect of Different Cultivation Patterns on Soil Enzyme Activities and Soil Nutrients in Ginger Field

HAN Chunmei¹, LI Chunlong¹, YE Shaoping¹, PAN Kaiwen², WU Ning², LI Wei²

(1. Department of Modern Agriculture, Chengdu Agricultural College, Chengdu, Sichuan 611130; 2. Chengdu Institute of Biology/ECORES Lab, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041)

Abstract: Taking ‘Qianwei Huangkou ginger’ as test material, the effect of different cultivation patterns (such as ginger monoculture, ginger and soybean intercropping, ginger and green onion intercropping, ginger and garlic intercropping, ginger, soybean and green onion mixed-cropping, ginger, soybean and garlic mixed-cropping, ginger, green onion and garlic mixed-cropping, ginger, soybean, green onion and garlic mixed-cropping) on soil enzyme activities and soil nutrients at the vigorous growth stage and harvest stage of ginger field were studied in this article by field experiment. The results showed that all intercropping systems increased soil enzyme activities to different extent both at vigorous growth stage and at harvested stage compared to solo ginger. In the same environment conditions, the effectiveness of ginger rhizosphere soil nutrients in intercropping mode were higher than that of solo ginger such as available phosphorus, available potassium and ammonium nitrogen. And the nitrate accumulation in intercropping mode was reduced compared with solo ginger. Furthermore, there was a positive correlation between partial soil enzyme activities and soil nutrients. Such as soil protease, invertase activity was positively correlated with soil available phosphorus content, denitrifying enzyme activity was positively correlated with soil organic matter and soil available potassium content, and soil acid phosphatase, cellulose and polyphenol oxidase activity was positively correlated with soil available potassium content.

Keywords: cultivation pattern; ginger; soil enzyme activities; soil nutrients