

南丰蜜橘园自然生草对土壤微生物和养分及果实品质的影响

付学琴^{1,*}, 刘琚珥², 黄文新³

(¹江西师范大学生命科学学院, 南昌 330022; ²南昌大学食品工程学院, 南昌 330031; ³江西省农业厅, 南昌 330046)

摘 要: 以自然生草 2、4 和 8 年的南丰蜜橘园为对象, 研究了自然生草和清耕条件下土壤中的微生物数量、酶活性和养分以及果实品质的差异。结果表明, 南丰蜜橘园土壤微生物以细菌为主, 占 90% 以上。与清耕相比, 自然生草总体使土壤微生物数量增加, 且呈现出不同的变化趋势。自然生草除使土壤磷酸单脂酶活性降低外, 总体使土壤酶活性提高。自然生草可以增加土壤有机质、全氮、全磷、全钾的含量, 生草 8 年比对照增加了 196.4%、56.53%、66.67% 和 77.08%。自然生草 2 年碱解氮、速效磷、速效钾含量明显低于对照, 生草 8 年反而比对照增加了 25.98%、3.1% 和 90.57%。自然生草能明显提高南丰蜜橘果实可溶性固形物和可溶性糖含量, 降低可滴定酸含量。相关分析表明, 不同年限自然生草的土壤微生物数量、土壤酶活性、土壤养分之间均存在相关性。自然生草能有效提高土壤中的微生物数量、酶活性及肥力, 提升果实鲜食品质。

关键词: 柑橘; 果园; 自然生草; 土壤微生物学特性; 土壤养分; 土壤酶活性; 果实品质

中图分类号: S 666

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2015) 08-1551-08

Effects of Natural Grass on Soil Microbiology, Nutrient and Fruit Quality of Nanfeng Tangerine Yard

FU Xue-qin^{1,*}, LIU Ju-er², and HUANG Wen-xin³

(¹College of Life Sciences, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China; ²College of Food Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China; ³Jiangxi Agriculture Department, Nanchang 330046, China)

Abstract: Using Nanfeng tangerine yard as research subject, the variation of microorganism category, enzyme activities, soil nutrient and fruit quality were studied under different conditions such as 2 years grass, 4 years grass, 8 years grass and clean cultivation. The bacteria quantity in the soil of Nanfeng tangerine yard, ranked first, account for 90% of total microorganisms. Most detected soil microorganism quantity and soil enzyme activities, except phosphomonoesterase, were increased under sod culture treatment, compared to clean tillage. Natural grass can increase the organic matter and the content of TN, TP, TK in the soil, compared with the control, the soil organic matter and the content of TN, TP, TK in 8 years natural grassland increased separately by 196.4%, 56.53%, 66.67% and 77.08%. The contents of alkali-hydrolyzable N, available P, and available K in soil with grass 2 years were

收稿日期: 2015-04-01; 修回日期: 2015-07-17

基金项目: 江西省科技支撑计划项目 (20122BBF60067)

* E-mail: huangwx751027@sina.com

significantly lower than that of the control while increased by 25.98%, 3.1%, 90.57% in soil with grass 8 years. The naturally grown grass significantly increased the soluble solids and soluble sugar of Nanfeng tangerine. Correlation analysis indicated that soil microorganism, soil enzyme activities and soil nutrient mostly showed very significant correlation each other under different culture models. Naturally grown grass could improve effectively the soil microorganism quantity, soil enzyme activities, soil fertility and enhanced fruit fresh eating quality.

Key words: citrus; yard; natural grass; soil microbiological characteristic; soil nutrient; soil enzyme activity; fruit quality

由于长期实行传统的清耕制土壤管理模式, 导致南丰蜜橘园土壤性状退化, 水土流失, 环境污染, 生物多样性降低, 系统抗逆性减弱等一系列生态环境问题(方治军 等, 2009; 丁明华和涂艺声, 2012)。

果园生草是欧美及日本等果树生产发达国家普遍推行的果园土壤管理模式, 取得了良好的生态及经济效益(Ingels et al., 2005; Whitelaw-Weckert et al., 2007)。中国于 1998 年将果园生草作为绿色果品生产主要技术措施在全国推广(何庆, 1998), 但因各产区气候、立地条件差别较大, 在草种选择与利用上缺乏相应的规范化技术, 加之受传统耕作习惯的影响, 目前果园生草尚处于试验与小面积应用阶段(郝淑英 等, 2003; 李会科 等, 2005)。本试验中以传统清耕方式为对照, 探讨南丰蜜橘园自然生草对土壤微生物数量、酶活性、养分和果实品质的影响, 以期构建合理土壤管理模式, 提高南丰蜜橘产量和品质提供理论依据, 进而推进南丰蜜橘产业可持续发展。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于 2012—2013 年在江西省南丰县市山镇南丰蜜橘研究所进行。该区位于东经 116°26′, 北纬 26°35′, 属亚热带季风湿润气候, 年均气温 18.3 °C, 年降水量 1 700 mm, 年日照 1 928.2 h, 无霜期 269 d 左右。橘园为低丘缓坡地, 面积 30.5 hm²。土壤为黄红壤, pH 4.71, 含有机质 9.24 g·kg⁻¹, 碱解氮 57.12 mg·kg⁻¹, 速效磷 40.23 mg·kg⁻¹, 速效钾 18.22 mg·kg⁻¹, 全氮 4.15 g·kg⁻¹, 全磷含量 0.21 g·kg⁻¹, 全钾 4.06 g·kg⁻¹。

南丰蜜橘树龄 15 年, 株行距 4.5 m × 3 m。

1.2 试验设计

设连续自然生草 2 年、4 年、8 年和清耕 4 个处理。生草处理小区分别于 2011、2009 和 2005 年的春季进行全园自然生草(主要有狗牙根、地耳菜、狗尾草、一年蓬等), 面积分别为 1.2、1.6 和 1.4 hm², 每年刈草 2 次, 就地覆盖。清耕处理定期中耕除草, 小区面积为 1.0 hm²。随机区组设计, 3 次重复。各处理小区其他措施基本一致, 常规管理。

1.3 样品采集与测定

2013 年 8 月中旬在各处理小区按五点法取土壤样品。用土钻取 0~40 cm 土层土样, 分层混匀, 挑除土壤杂质后混匀装入两个无菌的牛皮纸袋中带回实验室, 一袋保存在 4 °C, 用于测定微生物数

量、土壤酶活性; 另一袋风干后用于土壤养分测定。

土壤细菌、放线菌、真菌、固氮菌和纤维素分解菌计数采用稀释涂布平板法(吴金水 等, 2006)测定。细菌培养用牛肉膏蛋白胨培养基, 放线菌培养用改良高氏 1 号培养基, 真菌培养用马丁孟加拉红培养基, 固氮菌培养用 Ashby 无氮培养基, 纤维素分解菌培养用赫奇逊氏培养基。

土壤有机质测定用重铬酸钾容量法, 全氮测定用凯氏法, 碱解氮测定用碱解扩散法, 全磷和速效磷测定用钼锑抗比色法, 全钾和速效钾测定用火焰光度法, pH 值用酸度计测定(以 1:1 土水比测定)(鲍士旦, 2000)。

土壤蔗糖酶活性测定用 3,5 - 二硝基水杨酸比色法, 脲酶活性测定用次氯酸钠—苯酚钠比色法, 磷酸单酯酶活性测定用对硝基苯磷酸盐法, 过氧化物酶活性测定用邻苯三酚比色法, 蛋白酶测定用铜盐比色法(关松荫, 1986)。

2013 年 11 月中旬在各处理小区随机选取 5 株长势一致挂果正常的植株, 从东、南、西、北、中部采摘 5 个果实进行品质测定。果实硬度测定用 GY-1 型果实硬度计, 果实可溶性固形物含量测定用 TR-100 型数字折光仪, 可滴定酸含量测定用 NaOH 中和滴定法, 可溶性糖含量测定用蒽酮比色法(李合生, 2000)。

采用 DPS V7.55 和 SPSS13.0 软件进行方差分析和相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同年限自然生草对土壤微生物数量的影响

从表 1 可以看出, 南丰蜜橘园土壤微生物以细菌为主, 数量占微生物总量的 90%以上, 其次是放线菌和固氮菌, 真菌和纤维素分解菌较少。自然生草总体使土壤微生物数值升高, 有利于微生物生长。不同年限自然生草土壤微生物数量存在差异。细菌和放线菌呈现出先上升后下降的趋势, 自然生草 2 年的细菌数值最大(比对照增加了 308.5%), 自然生草 4 年的放线菌数值最大(比对照增加了 23.6%)。真菌和纤维素分解菌呈现出逐步上升的趋势, 自然生草 8 年的数值最大(分别比对照增加了 173.7%、164.0%), 与其它年限达到显著差异水平。自然生草固氮菌数量与对照差异显著(8 年处理比对照增加了 134.4%), 但不同年限自然生草间差异不明显。

表 1 不同年限自然生草对土壤微生物数量的影响
Table 1 The effect of natural grass of different years on soil microorganism quantity

年限 Year	细菌/ (10 ⁷ CFU · g ⁻¹) Bacterium	放线菌/ (10 ⁵ CFU · g ⁻¹) Actinomycetes	真菌/ (10 ³ CFU · g ⁻¹) Fungi	固氮菌/ (10 ⁵ 个 · g ⁻¹) Bacterium	纤维素分解菌/ (10 ⁴ 个 · g ⁻¹) Cellulose-decomposing acteria
0	1.65 ± 0.21 d	5.30 ± 0.52 c	3.92 ± 0.17 d	3.52 ± 0.89 b	2.25 ± 3.26 d
2	6.74 ± 0.59 a	6.01 ± 0.54 b	5.22 ± 0.21 c	8.18 ± 1.14 a	3.78 ± 2.52 c
4	5.81 ± 0.38 b	6.55 ± 0.11 a	8.59 ± 0.74 b	8.11 ± 0.27 a	4.80 ± 5.33 b
8	4.21 ± 0.26 c	5.36 ± 0.13 c	10.73 ± 0.82 a	8.25 ± 0.16 a	5.94 ± 2.45 a

注: 年限 0 表示清耕(对照)。不同小写字母表示不同处理间差异显著(P < 0.05)。下同。
Note: Year 0 means clean cultivation (Control). Values with different lowercase letters are significantly different among different treatments at P < 0.05. The same below.

2.2 不同年限自然生草对土壤酶活性的影响

土壤酶的活性反映了土壤中进行的各种生化过程的方向和强度, 是土壤生物活性强度标志之一

(Mengelk & Kirkby, 1987)。从表 2 可知, 自然生草 8 年, 除磷酸单脂酶活性低于对照外, 蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶及蛋白酶活性均高于对照, 说明自然生草总体有利于提高土壤中酶活性, 促进土壤养分转化。不同年限土壤酶活性差异明显。蔗糖酶活性表征了土壤碳氮转化的速率, 它的变化趋势为 2 年 > 4 年 > 8 年, 分别比对照提高了 68.41%、51.19%和 25.95%, 说明自然生草的土壤碳氮转化速率均高于对照。土壤脲酶和蛋白酶都是土壤氮素循环的重要酶类, 它们的变化趋势为 8 年 > 4 年 > 2 年, 8 年比对照分别提高了 25.31%和 26.03%, 而 4 年和 2 年则分别比对照降低了 16.82%、34.77%和 20.12%、35.01%, 说明自然生草 8 年的土壤中氮素供应好于对照, 而自然生草 2 年和 4 年的土壤中氮素供应则差于对照。磷酸单脂酶活性变化趋势为 8 年 > 4 年 > 2 年, 均低于对照, 分别比对照下降了 7.4%、31.98%、44.21%, 说明自然生草的土壤中被植物利用的无机态磷供应差于对照。过氧化氢酶活性表示土壤腐质化强度大小和有机质积累程度, 它的变化趋势为 8 年 > 4 年 > 2 年, 分别比对照提高了 29.08%、16.02%、1.58%, 说明自然生草的土壤中腐殖质含量高于对照。

表 2 不同年限自然生草对土壤酶活性的影响
Table 2 The effect of natural grass of different years on soil enzyme activity

年限 Year	蔗糖酶 Sucrase	脲酶 Urease	磷酸单脂酶 Phosphomonoesterase	过氧化物酶 Peroxidase	蛋白酶 Protease
0	78.45 ± 2.21 d	36.27 ± 1.87 b	163.15 ± 3.54 a	70.04 ± 5.16 c	44.53 ± 1.18 b
2	132.12 ± 6.47 a	23.66 ± 2.09 d	91.02 ± 1.34 d	71.15 ± 2.72 c	28.91 ± 3.36 d
4	118.61 ± 2.15 b	30.17 ± 4.14 c	110.97 ± 5.26 c	81.26 ± 3.12 b	35.57 ± 2.25 c
8	98.81 ± 3.76 c	45.45 ± 2.96 a	151.04 ± 1.36 b	90.41 ± 6.02 a	56.12 ± 3.44 a

2.3 不同年限自然生草对土壤养分含量的影响

从表 3 可以看出, 随着自然生草年限的增加, 土壤有机质、全氮、全磷、全钾的含量呈现出逐步上升的趋势, 自然生草 8 年分别比对照提高了 196.4%、56.53%、66.67%和 77.08%。碱解氮、速效磷、速效钾呈现出先下降后上升的趋势, 自然生草 2 年时各含量数值最低, 分别只有对照的 61.91%、62.01%和 89.06%; 自然生草 8 年时明显上升, 分别比对照提高了 25.98%、3.13%和 90.57%, 说明在自然生草土壤管理模式下, 前期杂草对碱解氮、速效磷、速效钾有较大的消耗, 出现了“与果争肥水”的情况, 但随着自然生草年限的增长, 影响逐步减小, 特别是速效钾含量得到明显提高。

表 3 不同年限自然生草对土壤养分含量的影响
Table 3 The effect of natural grass of different years on soil nutrients content

年限 Year	pH	g · kg ⁻¹				mg · kg ⁻¹		
		有机质 Organic matter	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K	碱解氮 Hydrolyzale N	速效磷 Available P	速效钾 Available K
0	4.63 a	9.13 ± 0.16 d	3.98 ± 0.24 d	0.21 ± 0.05 c	3.97 ± 0.75 d	50.65 ± 2.67 b	39.01 ± 5.04 a	18.46 ± 2.47 c
2	4.63 a	10.37 ± 0.43 c	4.85 ± 0.29 c	0.21 ± 0.11 c	4.37 ± 0.90 c	31.36 ± 3.17 d	24.19 ± 2.23 c	16.44 ± 1.18 d
4	4.65 a	18.82 ± 0.79 b	5.72 ± 2.06 b	0.29 ± 0.03 b	5.94 ± 1.16 b	46.18 ± 2.91 c	31.28 ± 3.61 b	28.71 ± 2.52 b
8	4.65 a	27.06 ± 1.32 a	6.23 ± 1.38 a	0.35 ± 0.16 a	7.03 ± 3.14 a	63.81 ± 3.19 a	40.23 ± 5.22 a	35.18 ± 4.79 a

2.4 土壤微生物数量、土壤酶活性、土壤养分之间相关分析

土壤养分(尤其是有机质)是土壤微生物的碳源和氮源, 而土壤微生物的种类和数量又在某种程度上决定土壤酶的来源(许景伟 等, 2000; 薛立 等, 2003; 王清奎 等, 2006; 刘增文 等, 2007)。不同年限自然生草条件下土壤酶活性与养分因子存在着密切相关性(表 4), 土壤蔗糖酶与速效磷、速效钾、全磷呈显著相关($r < 0.05$)或极显著相关($r < 0.01$), 脲酶、蛋白酶与有机质、碱解氮、

全氮呈显著或极显著相关, 磷酸单酯酶与速效磷、速效钾、全磷呈极显著或显著相关, 过氧化物酶与碱解氮、全氮、全钾呈显著或极显著相关。由此说明土壤酶在促进土壤有机物转化过程中既存在共性关系, 更显示出专性和特性。

表 4 土壤酶活性与土壤养分含量相关分析
Table 4 Corretation analysis between soil enzyme activity and soil nutrient content

因子 Factor	有机质 Organic matter	碱解氮 Hydrolyzale N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
蔗糖酶 sucrase	0.582	0.156	- 0.962**	- 0.953**	- 0.413	- 0.754*	- 0.182
脲酶 Urease	0.981**	0.885**	- 0.514	- 0.491	0.779*	- 0.393	0.586
磷酸单脂酶 Phosphomonoesterase	- 0.472	0.119	0.981**	0.776*	0.526	0.975**	0.358
过氧化物酶 Peroxidase	0.673	0.815**	0.188	0.324	0.861**	0.418	0.714*
蛋白酶 Protease	0.948**	0.867**	- 0.462	- 0.372	0.712*	- 0.431	0.360

* 表示 5% 的差异显著水平; ** 表示 1% 差异极显著水平, 下同。
* means the significant level of 5% and ** means the significant level of 1%. The same below.

不同年限自然生草条件下土壤细菌、放线菌、真菌、固氮菌、纤维素分解菌与土壤有机质、全氮、全钾和碱解氮、速效钾含量达到显著或极显著相关, 与全磷、速效磷相关性不显著 (表 5)。由此说明, 土壤有机质和氮素含量高, 可为土壤微生物提供充足的碳源和氮源, 维持较高的土壤微生物活性; 而这些微生物又可以不断把土壤中不可利用的肥料转化为速效养分, 明显改善土壤中速效氮和速效钾的供应状况。

表 5 土壤微生物数量与土壤养分含量相关分析
Table 5 Corretation analysis between soil microbial quantity and soil nutrient content

因子 Factor	有机质 Organic matter	碱解氮 Hydrolyzale N	速效磷 Available P	速效钾 Available K	全氮 Total N	全磷 Total P	全钾 Total K
细菌 Bacteria	0.961**	0.892**	- 0.432	0.932**	0.854**	0.116	0.722*
放线菌 Actinomycetes	0.865**	0.866**	0.328	0.824**	0.892**	0.434	0.821**
真菌 Fungi	- 0.896**	- 0.914**	- 0.454	- 0.741*	- 0.922**	- 0.521	- 0.807**
固氮菌 Acterium	0.881**	0.932**	0.423	0.918**	0.858**	0.408	0.734*
纤维素分解菌 Cellulose decomposing bacteria	0.990**	0.918**	0.565	0.871**	0.821**	0.519	- 0.901**

由表 6 可知, 不同年限自然生草条件下脲酶与细菌、放线菌、固氮菌、纤维素分解菌均呈显著或极显著正相关, 说明细菌、放线菌、固氮菌、纤维素分解菌生理代谢产物可以促进土壤脲酶活性的提高; 磷酸单脂酶、蛋白酶与纤维素分解菌呈显著正相关, 说明纤维素分解菌生理代谢产物可以促进土壤磷酸单脂酶和蛋白酶活性的提高; 过氧化物酶与细菌、放线菌、纤维素分解菌均呈显著或

表 6 土壤微生物数量与土壤酶活性相关分析
Table 6 Corretation analysis between soil microbial quantity and soil enzyme activity

因子 Factor	蔗糖酶 Sucrase	脲酶 Urease	磷酸单脂酶 Phosphomonoesterase	过氧化物酶 Peroxidase	蛋白酶 Protease
细菌 Bacteria	- 0.312	0.915**	0.259	0.713*	0.307
放线菌 Actinomycetes	- 0.414	0.714*	0.304	0.702*	0.419
真菌 Fungi	0.556	- 0.552	- 0.532	- 0.819**	- 0.521
固氮菌 Acterium	0.469	0.715*	0.481	0.541	0.445
纤维素分解菌 Cellulose decomposing bacteria	0.564	0.823**	0.715*	0.816**	0.712*

极显著正相关，说明细菌、放线菌、纤维素分解菌生理代谢产物可以促进过氧化物酶活性的提高，过氧化物酶与真菌呈负极显著相关，说明真菌生理代谢产物会抑制脲酶活性。

2.5 不同年限自然生草对果实品质的影响

从表 7 可以看出，不同年限自然生草园南丰蜜橘果实品质指标存在差异。与对照相比，除果实硬度差异不显著外，自然生草总体可以增加可溶性固形物和可溶性糖含量，降低可滴定酸含量，说明自然生草能明显改善南丰蜜橘果实鲜食品质。自然生草 8 年的可溶性固形物含量、可溶性糖含量分别是自然生草 2 年的 1.26 倍、1.17 倍，可滴定酸含量为自然生草 2 年的 83.6%，说明自然生草时限越长，对改善南丰蜜橘果实鲜食品质效果越好。

表 7 不同年限自然生草对果实品质的影响
Table 7 The effect of natural grass of different years on fruit quality of Nanfeng tangerine

年限 Year	硬度/ (kg · cm ⁻²) Firmness	可溶性固形物/% Soluble solid	可滴定酸/% Titratable acid	可溶性糖/% Soluble sugar
0	1.15 ± 0.04 a	10.04 ± 0.16 d	0.95 ± 0.08 c	127.14 ± 3.82 d
2	1.18 ± 0.01 a	12.26 ± 0.27 c	0.73 ± 0.06 b	130.17 ± 8.24 c
4	1.17 ± 0.02 a	13.26 ± 0.12 b	0.72 ± 0.05 b	138.16 ± 5.03 b
8	1.14 ± 0.01 a	15.41 ± 0.22 a	0.61 ± 0.04 a	152.25 ± 6.14 a

3 讨论

柑橘园生草可以增加土壤的植被覆盖度，为微生物的大量繁衍提供有利环境，从而促进土壤微生物数量的增加（郑重禄，2011）。本研究表明，自然生草总体使土壤微生物数量增加，与前人的研究结果（Whitelaw-Weckert et al., 2007）一致。不同年限自然生草条件下的土壤微生物与土壤有机质、全氮、全钾和碱解氮、速效钾含量呈正相关，与全磷、速效磷相关性不显著，说明土壤微生物可以有效促进有机质转化和氮素、钾元素循环，但对磷元素循环作用不明显。

土壤酶是由微生物、动植物活体及残骸分解释放到土壤中的一类活性物质（姜小凤 等，2010），其活性能反映土壤生物活性和土壤生化反应强度，是评价土壤肥力、土壤质量及土壤健康的重要指标（马忠明 等，2011）。本研究表明，自然生草后蔗糖酶、脲酶、过氧化氢酶及蛋白酶活性显著提高，土壤肥力水平及营养元素状况得到明显改善，其主要原因是由于自然生草后，土壤中的有机质含量升高，微生物可利用的营养物质更加丰富，数量增多，进而增加了酶的含量和活性，这与大部分研究结论（龙妍 等，2007；Sirrione et al., 2008；任群 等，2009；潘学军 等，2010）一致。本研究还发现，磷酸单脂酶活性一直低于对照，这与吴玉森等（2013）的研究结论一致，其原因还需进一步研究。

本研究中发现，自然生草 2 年时，土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量数值最低，而自然生草 8 年时明显上升，与李国怀和伊华林（2005）、李会科等（2007）的研究结果基本一致，说明自然生草前期，确实存在“杂草与果树争肥”的现象，而随着生草年限的延长，影响越来越小。因此，在自然生草的前期，保障南丰蜜橘园水肥的有效供应是自然生草栽培成功与否的关键时期，特别是在土壤肥力较差的果园进行生草栽培的初期更应当增施一定数量速效氮、磷、钾肥料。一旦顺利度过生草栽培的关键时期，随着生草年限的增加，土壤理化性质不断改善，土壤有机质含量和有效养分不断提高，从而走上了良性循环的可持续发展轨道。

References

- Bao Shi-dan. 2000. Soil and agricultural chemistry analysis. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 鲍士旦. 2000. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社.
- Ding Ming-hua, Tu Yi-sheng. 2012. Study on fruit qualities and sucrose-metabolizing enzymes in *Citrus reticulata* Blanco var. *kinokuni* (Tanaka) H. H. Hu from six different places. Journal of Anhui Agri Sci, 40 (17): 9233 - 9235, 9238. (in Chinese)
- 丁明华, 涂艺声. 2012. 不同产地南丰蜜橘果实品质和蔗糖代谢相关酶研究. 安徽农业科学, 40 (17): 9233 - 9235, 9238.
- Fang Zhi-jun, Xu Xiao-biao, Gu Qing-qing, Liu Shan-jun, Qu Xue-yan, Chen Jin-yin. 2009. Analysis from different habitats of Jiangxi Nanfeng orange fruit quality. China Southern Fruit, 38 (3): 22 - 23. (in Chinese)
- 方治军, 徐小彪, 辜青青, 刘善军, 曲雪艳, 陈金印. 2009. 江西不同产地南丰蜜橘果实品质分析. 中国南方果树, 38 (3): 22 - 23.
- Guan Song-meng. 1986. Soil enzyme and its research methods. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 关松萌. 1986. 土壤酶及其研究法. 北京: 中国农业出版社.
- Hao Shu-ying, Liu Hu-die, Niu Jun-ling, Xie Xiao-hong, Li Deng-ke. 2003. Effects of herbage mulching on apple yield and soil water and other soil physical properties in the Loess Plateau. Soil and Fertilizer, (1): 25 - 27. (in Chinese)
- 郝淑英, 刘蝴蝶, 牛军玲, 解晓红, 李登科. 2003. 黄土高原区果园生草覆盖对土壤物理性状、水分及产量的影响. 土壤肥料, (1): 25 - 27.
- He Qing. 1998. Spreading technology of planting herbage in orchard for green fruit production. Food and Nutrition in China, (6): 40. (in Chinese)
- 何庆. 1998. 推广绿色果品生产的果园生草技术. 中国食物与营养, (6): 40.
- Ingels C A, Scow K M, Whisson D A, Drenovsky R E. 2005. Effects of cover crops on grapevines, yield, juice composition, soil microbial ecology, and gopher activity. American Journal of Enology and Viticulture, 56 (1): 19 - 29.
- Jiang Xiao-feng, Wang Shu-ying, Ding Ning-ping, Fan Ting-lu, Zhang Ping-liang, Guo Jian-guo, Li Qian, Su Min. 2010. Effect of different fertilization on soil enzyme activity and nutrients. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 24 (1): 136 - 141. (in Chinese)
- 姜小凤, 王淑英, 丁宁平, 樊廷录, 张平良, 郭建国, 李倩, 苏敏. 2010. 施肥方式对旱地土壤酶活性及养分的影响. 核农学报, 24 (1): 136 - 141.
- Li Guo-huai, Yi Hua-lin. 2005. Influences of sod culture on the soil water content, effect of soil nutrients, fruit yield and quality in citrus orchard. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 13 (2): 161 - 163. (in Chinese)
- 李国怀, 伊华林. 2005. 生草栽培对柑橘园土壤水分与有效养分及果实产量、品质的影响. 中国生态农业学报, 13 (2): 161 - 163.
- Li He-sheng. 2000. Plant physiology biochemistry experiment principle and technology. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社.
- Li Hui-ke, Zhang Guang-jun, Zhao Zheng-yang, Li Kai-rong. 2007. Effects of interplanting of herbage on soil nutrient of non-irrigated apple orchard in the Loess Plateau. Acta Horticulturae Sinica, 34 (2): 477 - 480. (in Chinese)
- 李会科, 张广军, 赵政阳, 李凯荣. 2007. 黄土高原旱地苹果园生草对土壤养分的影响. 园艺学报, 34 (2): 477 - 480.
- Li Hui-ke, Zhao Zhen-yang, Zhang Guang-jun. 2005. The theory and practice of planting herbage in orchards. Pratacultural Science, 22 (8): 32 - 37. (in Chinese)
- 李会科, 赵政阳, 张广军. 2005. 果园生草的理论与实践——以黄土高原南部苹果园生草实践为例. 草业科学, 22 (8): 32 - 37.
- Liu Zeng-wen, Gao Wen-jun, Pan Kai-wen, Zhang Li-ping, Du Hong-xia, Gao Xiang-bin. 2007. Effects of soil mix-incubation of 4 species artificial forests with litters on the biochemical characteristic. Journal of Northwest A & F University: Nat Sci Ed, 35 (7): 48 - 54. (in Chinese)
- 刘增文, 高文俊, 潘开文, 张丽萍, 杜红霞, 高祥斌. 2007. 4 种人工纯林土壤及其凋落叶混合培养对土壤化学性质的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 35 (7): 48 - 54.
- Long Yan, Xi Zhu-mei, Cheng Jian-mei, Pang Xue-liang. 2007. Ecological distributing of soil microorganisms and activity of soil enzymes in vineyard green covering. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 35 (6): 99 - 103. (in Chinese)
- 龙妍, 惠竹梅, 程建梅, 庞学良. 2007. 生草葡萄园土壤微生物分布及土壤酶活性研究. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 35 (6): 99 - 103.
- Ma Zhong-ming, Du Shao-ping, Wang Ping, Bao Xing-guo. 2011. Effects of long-term located fertilization on soil enzymatic activities for

- wheat-maize intercropping in irrigated desert soils. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 25 (4): 796 – 801. (in Chinese)
- 马忠明, 杜少平, 王 平, 包兴国. 2011. 长期定位施肥对小麦玉米间作土壤酶活性的影响. *核农学报*, 25 (4): 796 – 801.
- Mengel K, Kirkby E A. 1987. Principles of plant nutrition. Bern, Switzerland: International Potash Institute: 247 – 252.
- Pan Xue-jun, Zhang Wen-e, Fan Wei-guo, Peng Gui-hua, Luo Guo-hua. 2010. Effects of sod culture and intercropping green manure on the soil nutrient, enzyme activities and microorganisms in bonsai *Citrus*. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (8): 1235 – 1240. (in Chinese)
- 潘学军, 张文娥, 樊卫国, 蓬桂华, 罗国华. 2010. 自然生草和间种绿肥对盆栽柑橘土壤养分、酶活性和微生物的影响. *园艺学报*, 37 (8): 1235 – 1240.
- Ren Qun, Xiao Jia-xin, Chen Shi-lin, Qi Xiao-xiao, Hu Shi-quan, Yang Hui. 2009. Influences of sod culture on mineral nutrition in citrus leaves and fruit quality. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 25 (24): 407 – 409. (in Chinese)
- 任 群, 肖家欣, 陈世林, 齐笑笑, 胡世全, 杨 慧. 2009. 生草栽培对柑橘叶片矿质营养含量及果实品质的影响. *中国农学通报*, 25 (24): 407 – 409.
- Sirrine J R, Letourneau D K, Shennan C, Sirrine D, Fouch R, Jackson L, Mages A. 2008. Impacts of groundcover management systems on yield, leaf nutrients, weeds, and arthropods of tart cherry in Michigan, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 125: 239 – 245.
- Wang Qing-kui, Wang Si-long, Feng Zong-wei. 2006. Comparison of active soil organic carbon pool between Chinese fir plantations and evergreen broadleaved forests. *Journal of Beijing Forestry University*, 28 (5): 126. (in Chinese)
- 王清奎, 汪思龙, 冯宗炜. 2006. 杉木纯林与常绿阔叶林土壤活性有机碳库的比较. *北京林业大学学报*, 28 (5): 126.
- Whitelaw-Weckert M A, Rahman L, Hutton R J, Coombes N. 2007. Permanent swards increase soil microbial counts in two Australian vineyards. *Applied Soil Ecology*, 36: 224 – 232.
- Wu Jin-shu, Li Qi-mei, Huang Qiao-yun. 2006. The determination method of soil microbial biomass and its application. Beijing: China Meteorological Press. (in Chinese)
- 吴金水, 林启美, 黄巧云. 2006. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社.
- Wu Yu-sen, Zhang Yan-min, Ji Xiao-hao. 2013. Effects of natural grass on soil nutrient, enzyme activity and fruit quality of pear orchard in yellow river delta. *Scientia Agricultura Sinica*, 46 (1): 99 – 108. (in Chinese)
- 吴玉森, 张艳敏, 冀晓昊. 2013. 自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分、酶活性及果实品质的影响. *中国农业科学*, 46 (1): 99 – 108.
- Xu Jing-wei, Wang Wei-dong, Li Cheng. 2000. The correlation among soil microorganism, enzyme and soil nutrient in different types of mixed stands of *Pinus thunbergii*. *Journal of Beijing Forestry University*, 22 (1): 51 – 55. (in Chinese)
- 许景伟, 王卫东, 李 成. 2000. 不同类型黑松混交林土壤微生物、酶及其与土壤养分关系的研究. *北京林业大学学报*, 22 (1): 51 – 55.
- Xue Li, Chen Hong-yue, Kuang Li-gang. 2003. Soil nutrients, microorganism and enzyme activities of different stands. *Acta Pedologica Sinica*, 40 (2): 280 – 285. (in Chinese)
- 薛 立, 陈红跃, 邝立刚. 2003. 不同林分土壤养分、微生物与酶活性的研究. *土壤学报*, 40 (2): 280 – 285.
- Zheng Chong-lu. 2011. Influences of sod culture of citrus orchard soil fertility (reviews). *Zhejiang Citrus*, 28 (1): 21 – 26. (in Chinese)
- 郑重禄. 2011. 生草栽培对柑橘园土壤肥力的影响 (综述). *浙江柑橘*, 28 (1): 21 – 26.