

花生不同播种期对甘蔗/花生复合群落生态因子及花生产量的影响

方越^{1,2} 沈雪峰¹ 陈勇¹ 陈阜³ 张海林³

1. 华南农业大学农学院, 广州 510642; 2. 浙江省湖州市农业综合开发审核中心, 湖州 313000;
3. 中国农业大学农学与生物技术学院/农业部农作制度重点开放实验室, 北京 100193

摘要 在甘蔗/花生间套作带状种植条件下, 采用不同播期处理研究甘蔗/花生间套作的生态效应及其对花生产量与农艺性状的影响。结果表明: 适宜的花生播期处理能够显著提高花生产量, 其中 IS3 处理(甘蔗播前 15 d 种植花生)增产效果最佳, 并且对甘蔗的产量及各农艺性状没有显著影响。间套作能够显著提高土壤中铵态氮含量, 增幅为 57.66%~85.69%, 有效降低土壤硝态氮含量, 其中 IS3、IS4(甘蔗花生同期播种)、IS5(甘蔗播后 15 d 种植花生)处理中硝态氮含量降低 24.33%~26.76%。同时, 间套作中适宜的播期处理能够显著提高土壤微生物量碳/氮含量、整体代谢活性与群落结构多样性, 改善田间小气候。各生态因子与产量的相关性分析表明, 土壤微生物量碳/氮含量与花生产量具有显著相关性。因此, 选择合适的甘蔗/花生间套作播期, 会产生显著的增产效果与生态效益。

关键词 间套作; 甘蔗; 花生; 土壤养分; 土壤微生物

中图分类号 S 344.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2015)02-0001-08

间套作是 2 种以上生长季节相近或相似作物构成的一个复合群体, 形成在时间上和空间上的互补效应, 是一种能集约利用光、热、肥、水等自然资源的种植方式^[1]。在华南地区, 甘蔗(*Saccharum sinensis*)是主要的糖料作物, 甘蔗种植行距较宽(1.0~1.2 m), 苗期生长缓慢, 蔗行裸露时间可长达 90~120 d, 使光照、水分、养分以及土地资源不能被充分利用。因此, 根据互利共生原则和不同作物的生物学特性, 建立合理的间套作模式, 将有利于充分利用时间生态位和空间生态位^[2], 解决甘蔗种植前期资源不合理利用的问题。在间套作模式中, 豆科作物是发挥生物多样性优势, 提高资源利用效率最常用的作物^[3]。研究表明, 合理间套作有利于土壤团粒结构的形成, 改善土壤物理状况, 提高土壤养分利用率, 提高土壤肥力^[4]; 改善田间小气候, 降低光照强度、空气温度及土壤蒸发, 提高系统内的空气相对湿度, 具有显著的光能利用优势^[5-6]; 此外, 合理的间套作还能有效抑制杂草和病虫害, 增加土壤微生物含量, 提高作物产量和土地利用效率^[7-9]。目前, 甘蔗与

豆科作物间套作研究主要关注的是间套作对甘蔗和土壤的影响^[2,10], 而在间套作对豆科作物的影响方面报道较少。本试验以甘蔗/花生间套作复合群体为对象, 在甘蔗、花生种植密度相同的条件下, 研究不同间套作播期对土壤养分利用、土壤微生物活动与主要生态因子变化的影响, 运用主成分分析法研究影响花生产量的主要因子, 并对不同间套作处理中的各影响因子进行聚类分析, 旨在为甘蔗/花生间套作高产栽培模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点

试验于 2012 年 3—11 月在广州华南农业大学增城试验基地进行。该区地处南亚热带, 属南亚热带典型的季风海洋气候, 光热资源充足, 年日照时数 1 289~1 780 h, 太阳辐射总量 506.9~528.6 kJ/cm², 年均温 21.6℃, 最热月均温 28.5℃, 最冷月均温 13.2℃, 极端最高温度 38.2℃, 极端最低温度 -1.9℃, 无霜期 346 d。年均降水量 1 384~

收稿日期: 2013-07-13

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201103001)

方越, 助理农艺师, 研究方向: 作物栽培与耕作学, E-mail: alfredming@yeah.net

通信作者: 陈勇, 副教授, 研究方向: 作物栽培与耕作学、杂草生物学与防治, E-mail: chen Yong@scau.edu.cn

2 278 mm,约 85%的降水集中在 4—9 月。试验地土壤为赤红壤,耕层有机质含量 1.65%,速效氮 12.25 mg/kg,速效磷 49.08 mg/kg,速效钾 142.02 mg/kg,土壤 pH 值 6.61。

1.2 试验设计

供试甘蔗品种为广州番禺本地品种果蔗,供试花生品种为高产优质品种粤油 7 号。试验按照甘蔗/花生间套作不同播期共设 7 个处理,分别为自然恢复(NR)、花生单作(SP)、甘蔗播前 45 d 种植花生(IS1)、甘蔗播前 30 d 种植花生(IS2)、甘蔗播前 15 d 种植花生(IS3)、甘蔗花生同期播种(IS4)、甘蔗播后 15 d 种植花生(IS5)。每个处理各 3 次重复,共 21 个小区,完全随机区组排列。小区的规格为 3 m×5 m,在试验地四周设置保护行。甘蔗花生间套作规格采用 1:2 型种植(3 行甘蔗 6 行花生),带状种植。

试验在当年的 2 月 13 日开始整地,花生分别于 2 月 14 日(IS1、SP)、3 月 1 日(IS2)、3 月 15 日(IS3)、4 月 1 日(IS4)、4 月 15 日(IS5)播种,按照株、行距 30 cm×30 cm 穴播,每穴 3 粒种子,出苗后间苗,每穴留 2 株。甘蔗于 4 月 1 日播种,开沟种植,沟深不低于 30 cm,种苗平放,盖土 3~5 cm。甘蔗种植行距 1 m,每米下种双芽苗 5 条(活芽数 10 个),折双芽苗 5×10^4 条/hm²。单作花生和甘蔗/花生间套作处理中甘蔗与花生的种植密度相同,各个处理的管理方式(拔草、浇水)一致,于 5 月 14 日分别按照 225 kg/hm²与 300 kg/hm²的施肥量标准给花生、甘蔗种植带施含 N、P、K 各 15%的挪威复合肥,此后在花生整个生育期内均不施肥。于花生结荚期(6 月下旬)取 0~20 cm 表层土壤,每小区沿对角线方向取混合样,带回实验室捡去作物残根和小石头,过 2 mm 筛,然后将土样分为两部分,一部分风干用于测定土壤养分,另一部分保存在 4℃冰箱中,用于土壤微生物量碳/氮与功能多样性的测定。

1.3 土壤养分测定

土壤养分含量测定参照文献[11]中的方法进行,其中土壤有机质含量的测定采用重铬酸钾氧化法(外加热法),全氮含量的测定采用凯氏定氮法,铵态氮和硝态氮的测定采用蒸馏法,有效磷含量的测定采用分光光度计钼酸铵比色法,速效钾的测定采用火焰光度计法。

1.4 田间小气候测定

主要生态因子于花生结荚期(6 月中旬)进行测定,采用室外温湿度计、直角地温表测定温度、相对湿度和地温;采用照度计测定光量子强度。

1.5 土壤微生物量碳/氮及功能多样性测定

微生物量碳/氮测定采用氯仿熏蒸-0.5 mol/L K₂SO₄提取法,分别用重铬酸钾氧化法和凯氏定氮法测定提取液中的碳、氮^[12];土壤微生物群落功能多样性采用 Biolog 微平板方法,土壤样品按照一定的前处理和操作后,通过酶标仪在 590 nm 处测定微平板各孔吸光值^[13]。利用 ECO 微平板来研究不同微生物群落对不同单一碳源的利用能力差异,从而获得土壤微生物群落功能多样性和代谢活性等方面的相关信息。

1.6 数据分析

土壤养分、微生物量碳/氮及功能多样性等指标的显著性分析采用单因素方差分析法,采用主成分分析方法找出影响花生产量的主要因子,试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行分析,Origin 7.5 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同间套作播期对土壤养分变化的影响

由表 1 可以看出,不同间套作处理显著影响土壤铵态氮与硝态氮的含量;间套作处理的铵态氮含量明显高于单作,增幅达 57.66%~85.69%。随着播期的延迟,各间套作处理土壤铵态氮含量表现为 IS1>IS2>IS3>IS4>IS5;与单作相比,不同间套作处理的硝态氮含量显著降低,其中 IS3、IS4、IS5 处理中硝态氮含量降低 24.33%~26.76%。与单作相比,间套作处理对全氮、有机质、有效磷及速效钾的影响不显著。

2.2 不同间套作播期对主要生态因子的影响

1)不同间套作播期对土壤地温的影响。试验各处理土壤温度的日变化为 1 条单峰型曲线,且 1 d 中的最高温度出现在午后 14:00 左右(图 1)。各处理、各观测时刻的温度为自然恢复处理>花生单作处理>间套作处理,且间套作共生期的时间越长,温度越低。如在 5 cm 土层中,自然恢复处理的各观测时刻温度最高,分别为 28.41、33.38、35.44、38.54、38.03、35.44℃;在花生生育期内,间套作处理与单作相比较,各土层地温的变化趋势更趋于平缓,在地下 5、10、15、20 cm 处温度变幅分别减小了 2.50、2.00、1.50、0.10℃。甘蔗与花生进行间套作阻隔

表 1 甘蔗/花生间套作对土壤养分变化的影响¹⁾

Table 1 Effect of sugarcane/peanut intercropping on soil nutrition

处理 Treatment	全氮/(g/kg) Total N	有机质/(g/kg) Organic matter	铵态氮/(mg/kg) NH ₄ ⁺ -N	硝态氮/(mg/kg) NO ₃ ⁻ -N	有效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K
NR	0.93±0.06 b	19.73±0.80 b	9.61±0.64 ab	22.47±1.49 c	99.74±17.9 a	147.51±20.10 a
SP	1.08±0.02 ab	25.06±0.98 a	6.92±1.83 b	30.26±2.52 a	97.12±3.10 a	165.33±24.30 a
IS1	0.97±0.01 b	22.60±1.01 ab	12.85±1.79 a	26.84±2.48 bc	102.66±5.23 a	139.57±9.39 a
IS2	1.07±0.05 ab	23.17±1.38 ab	12.50±1.54 a	29.03±2.12 ab	88.49±6.08 a	154.25±9.04 a
IS3	1.25±0.12 a	21.61±3.26 ab	12.11±1.66 ab	24.30±2.97 bc	107.76±5.03 a	154.86±12.20 a
IS4	1.12±0.01 ab	24.04±1.08 a	11.12±1.74 ab	23.87±0.44 bc	97.31±13.20 a	142.48±7.57 a
IS5	1.20±0.07 a	25.05±1.58 a	10.91±0.93 ab	24.34±1.73 bc	112.87±9.24 a	184.07±16.00 a

1)不同列小写字母代表处理间显著性差异 $P < 0.05$, 下同。Different letters indicate significant difference at 0.05. The same as follows.

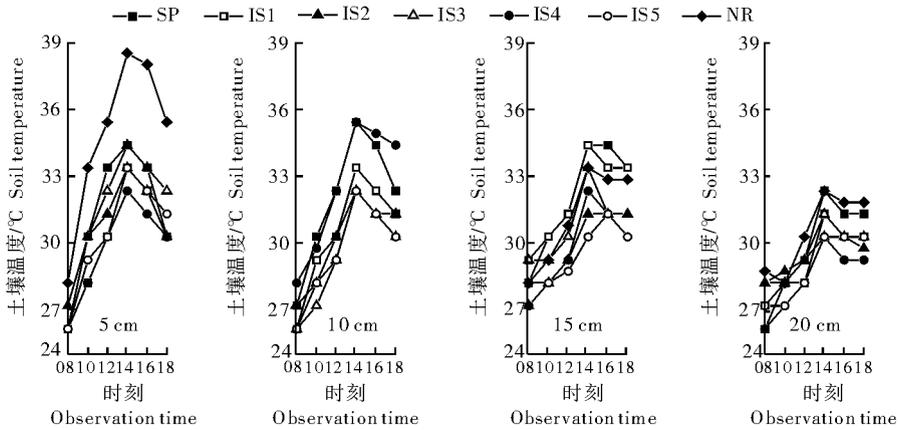


图 1 花生结荚期不同土层地温的日变化

Fig. 1 Changes of soil temperature in different soil layers

了大量的太阳辐射,使之不能完全直射到地面,从而减少了土壤对太阳辐射的吸收,降低了土温。随着土壤深度的增加,土壤温度的日变化幅度(仅指白天的最高温度与最低温度之差)减小,土温变化曲线趋于平缓。

2)不同间套作播期对田间小气候状况的影响。地表光照强度的日变化都表现为先上升、后下降,呈单峰曲线,最高的光强出现在正午 12:00 时左右(图 2)。自然恢复处理的光强在各观测时间均显著高于其他处理,正午 12:00 的光强高达 1 100.33 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,单作处理光强为 486.89 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,而同时刻间套作处 S1、IS2、IS3、IS4、

IS5 处理光强分别为 178.33、258.89、273.00、300.22、343.22 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。此时间套作各处理中的花生株高平均达到 40 cm,多物种、多层次对光的吸收、反射和透射作用,减弱了系统内的光照强度。

由图 2 可知,各处理地表最高温度均出现在午后 14:00 时。对照自然恢复(NR 处理)在各个观测时间点的空气温度分别为 34.21、35.63、37.22、38.92、36.90、33.55 $^{\circ}\text{C}$,均高于单作与间套作处理,且 $\text{SP} > \text{IS5} > \text{IS4} > \text{IS3} > \text{IS2} > \text{IS1}$ 处理;间套作系统中地表空气湿度的适当增加有利于花生的生长,对照自然恢复(NR 处理)在各个观测时间点的地表空气相对湿度均低于单作与间套作处理,并随着间

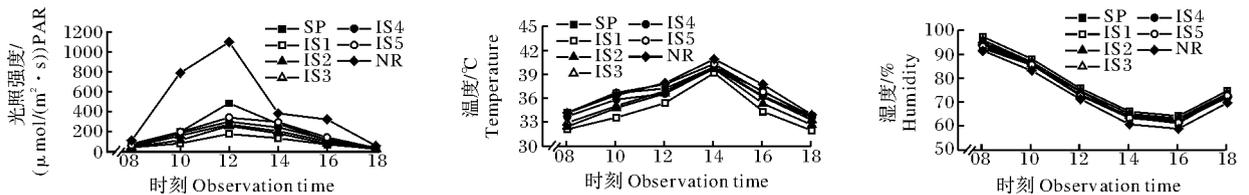


图 2 花生结荚期地表光照强度及温湿度的日变化

Fig. 2 Changes of surface light intensity, temperature and humidity in different soil layers

套作播期的延迟,各处理的地表空气湿度依次降低,即 $IS1 > IS2 > IS3 > IS4 > IS5 > SP > NR$ 处理。各处理空气相对湿度随着时间的变化均有一个先下降、再上升的趋势,最低点出现在 14:00—16:00,空气相对湿度分别为 64.12%、63.16%、62.51%、62.07%、61.49%、61.17%、58.83%。这与光照强度、空气温度的变化特点恰好相反,主要是因为随着光强和温度的提高,蒸散量增大、水汽更多逸失所致。

2.3 不同间套作播期对土壤微生物活动的影响

1)不同间套作播期对土壤微生物量碳/氮含量变化的影响。土壤微生物量碳的消长反映微生物利用土壤碳源进行自身细胞建成并大量繁殖和微生物细胞解体使有机碳矿化的过程,土壤微生物量氮的含量是土壤微生物对氮素矿化与固持作用的综合反映。由表 2 可知,不同间套作处理对土壤微生物量碳/氮含量有显著性的影响。自然恢复处理的土壤微生物量碳和土壤微生物量氮含量分别为 194.20、25.73 mg/kg,显著高于单作处理与部分间套作处理。与单作处理相比,合适的间套作处理能显著提高土壤微生物量碳/氮含量,其中,IS2 处理的效果最显著,分别提高 53.90%和 33.23%。间套作播期的选择是关键因素,过早或过晚的间套作处理的土壤微生物量碳/氮的含量都不高,表现为 $IS2 > IS3 > IS4 > IS1 > IS5$ 。

表 2 甘蔗/花生间套作对土壤微生物量碳/氮变化的影响

Table 2 Effect of sugarcane/peanut intercropping on soil microbial biomass carbon, soil microbial biomass nitrogen and pH

处理 Treatment	土壤微生物 量碳/(mg/kg) Soil microbial biomass carbon	土壤微生物 量氮/(mg/kg) Soil microbial biomass nitrogen	土壤 pH Soil pH
NR	194.20±52.80 a	25.73±1.12 a	5.45±0.14 ab
SP	102.60±16.30 ab	16.93±0.16 d	5.62±0.10 a
IS1	109.20±38.20 ab	18.65±0.14 cd	5.48±0.09 ab
IS2	158.00±29.30 ab	22.56±1.81 b	5.45±0.05 ab
IS3	153.50±16.90 ab	20.27±0.63 bc	5.55±0.10 a
IS4	116.30±1.96 ab	17.21±0.07 d	5.41±0.14 b
IS5	96.11±25.20 b	16.14±0.96 d	5.14±0.12 b

2)不同间套作播期对土壤微生物群落功能多样性的影响。平均颜色变化率(average well color development,AWCD)反映了土壤微生物的代谢活性,是土壤微生物群落利用单一碳源的重要指标。由图 3 可知,土壤微生物群落 AWCD 随培养时间的变化

呈现出“S”型曲线的趋势。在培养起始的 24 h 内 AWCD 的变化不明显,而培养后 24~144 h AWCD 快速增长,此时微生物活动旺盛,随后缓缓增加,慢慢趋于稳定。在培养期间,IS3 处理 AWCD 最高,显著高于单作处理(SP)AWCD,其他间套作处理与自然恢复处理(NR)AWCD 相似,无显著差异。

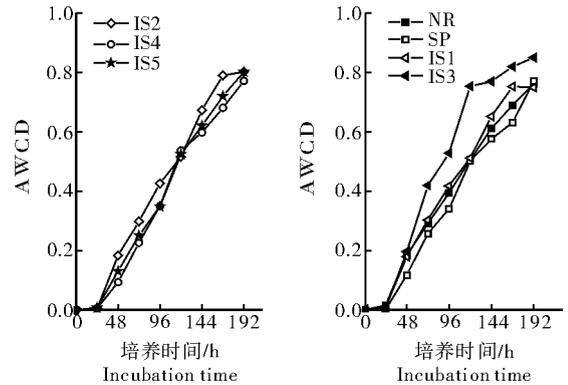


图 3 土壤微生物群落 AWCD 随培养时间的变化

Fig.3 AWCD changes with incubation time of different treatments

自然恢复处理(NR)的土壤微生物群落物种丰富度指数、均匀度指数均高于其他处理,但未达到显著水平(表 3)。单作处理(SP)的土壤微生物碳源利用丰富度指数显著低于间套作处理,而物种优势度指数最高。间套作处理的土壤微生物碳源利用丰富度指数最高,尤其 IS3 处理与 IS5 处理显著高于自然恢复处理(NR)与单作处理(SP),而物种优势度指数均较低(IS5 除外)。

2.4 不同间套作播期对花生产量及农艺性状的影响

由表 4 可见,不同间套作播期对花生产量及农艺性状的影响有显著性差异。随着播期的延迟,花生的株高呈递增的趋势且存在显著差异;同时,花生的分枝数与生物量也随着播期的延迟呈显著递增趋势。其中,IS5 处理的生物量比 IS1 处理增加了 51.29%;在花生结荚数、百粒重、产量方面,IS3 处理最高,分别为 19.89 个、64.68 g、6 638.10 kg/hm²,显著高于单作处理及其他间套作处理。与 SP 处理相比,IS1 处理(与 SP 同一播期)提高了各项农艺性状指数,增幅分别为 22.43%、25.00%、9.93%、47.54%、7.37%、9.84%。由于种间竞争和协同作用,合适的间套作处理有着显著的增产效果,其中 IS3 处理的效果最优。

表 3 甘蔗/花生间套作对土壤生物群落多样性指数的影响

Table 3 Effect of sugarcane/peanut intercropping on diversity indices for soil microbial communities

处理 Treatment	丰富度指数 Richness index	均匀度指数 Evenness index	碳源利用丰富度指数 Richness index of carbon utilization	优势度指数 Dominance index
NR	3.02±0.01 a	0.93±0.01 a	25.67±0.88 c	0.013±0.002 ab
SP	2.99±0.04 a	0.93±0.00 a	25.33±1.45 c	0.017±0.002 a
IS1	2.95±0.02 a	0.90±0.00 a	26.00±0.58 bc	0.013±0.001 ab
IS2	2.96±0.07 a	0.89±0.02 a	27.33±0.33 abc	0.012±0.002 ab
IS3	3.00±0.11 a	0.90±0.03 a	28.67±0.33 a	0.012±0.004 ab
IS4	2.86±0.05 a	0.87±0.01 a	26.67±0.88 abc	0.007±0.001 b
IS5	2.93±0.06 a	0.88±0.02 a	28.33±0.67 ab	0.017±0.000 a

表 4 甘蔗/花生间套作对花生产量及各农艺性状的影响

Table 4 Effect of sugarcane/peanut intercropping on peanut yield and agronomic traits

处理 Treatment	株高/cm Plant height	分枝数(个) Branch number	结荚数(个) Pods number	生物量/g Biomass	百粒重/g 100-seeds weight	产量/kg Yield
SP	40.82±1.09 d	5.33±1.02 a	16.78±1.94 a	46.59±1.97 c	58.71±7.14 ab	4 855.8±212.0 c
IS1	49.98±0.95 c	6.67±0.84 a	18.44±1.06 a	68.74±8.15 bc	63.04±2.76 a	5 333.6±254.0 bc
IS2	48.70±3.17 c	6.89±0.40 a	19.67±1.57 a	63.70±7.95 c	60.54±4.66 a	6 278.0±200.0 ab
IS3	58.98±0.73 b	6.44±0.40 a	19.89±0.29 a	70.69±8.86 bc	64.68±3.25 a	6 638.1±115.0 a
IS4	59.27±0.21 b	7.44±0.48 a	19.22±1.16 a	94.41±0.87 ab	62.98±3.28 a	6 175.9±432.0 ab
IS5	72.62±2.97 a	7.44±0.11 a	17.56±1.57 a	104.00±14.00 a	44.98±0.96 b	2 911.3±385.0 d

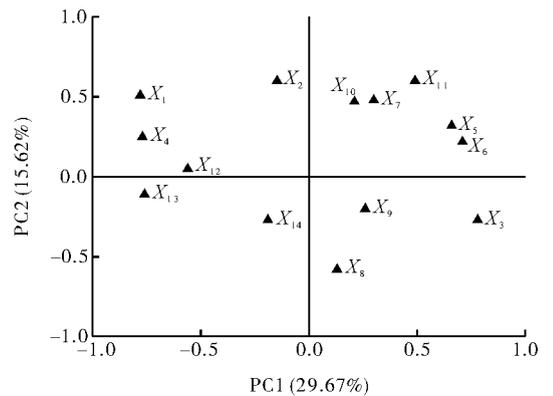
对各农艺性状与产量间相关性的分析结果表明,百粒重与产量存在极显著的正相关性,相关系数为 0.931,结荚数与产量也呈显著的正相关性,相关系数为 0.781,其余指标与产量的相关性不显著。

2.5 花生产量的主要影响因子分析

1)主成分分析。主成分分析共提取出了 6 个主成分,累计贡献率达 83.85%。其中第 1 主成分(PC1)贡献率是 29.67%;权重最大,第 2 主成分(PC2)贡献率是 15.62%,第 3 主成分(PC3)贡献率是 13.24%,第 4、5、6 主成分贡献率分别是 9.79%、8.25%与 7.24%,因第 3~6 主成分贡献率较小,所以本文只解释第 1、2 主成分(图 4)。分析表明,不同的影响因子在 PC 轴上出现了明显的分布差异。在 PC1 轴上,光照强度等生态因子与土壤微生物量碳等微生物活动因子主要分布在负方向上,而有机质含量等土壤养分因子都分布在正方向上;在 PC2 轴上,铵态氮、土壤微生物量氮等速效氮类指标均分布在负方向上,其余各项指标主要分布在正方向上。

2)聚类分析。根据 14 个影响因子的值,按欧氏距离法进行聚类分析,建立聚类分支树状图(图 5)。将 7 个间套作处理分为 2 类:第 1 类含有 6 个处理,可分为 3 个亚类,第 1 亚类有 IS2、IS3 与 IS4,表现为微生物量碳/氮含量高、群落多样性丰富与土壤全氮含量高、pH 适中、铵态氮含量高;第 2 亚类有 IS1,表现为地表光照强度弱、相对湿度高、温度低与

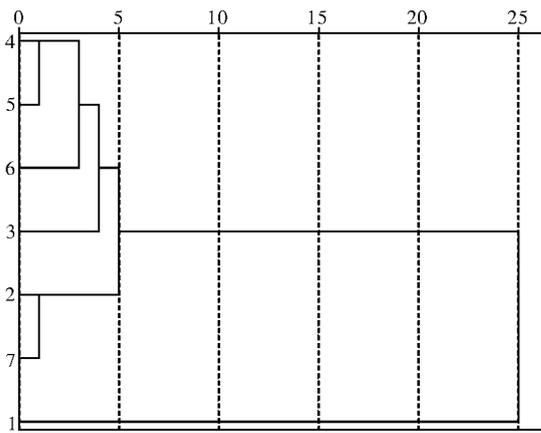
土壤铵态氮含量高、速效钾含量低、群落多样性单一;第 3 亚类有 SP 与 IS5,表现为微生物量碳/氮含量低与土壤全氮含量高、pH 高、铵态氮含量低、速效钾含量高。第 2 类只含有 NR 一个处理,表现为微生物量碳/氮含量高、地表光照强度高、相对湿度



X₁:光照强度 Light intensity; X₂:相对温度 Relative temperature; X₃:相对湿度 Relative humidity; X₄:土层温度 Soil temperature; X₅:全氮 Total N; X₆:有机质 Organic matter; X₇:pH; X₈:铵态氮 NH₄⁺-N; X₉:硝态氮 NO₃⁻-N; X₁₀:有效磷 Available P; X₁₁:速效钾 Available K; X₁₂:微生物量碳 Soil microbial biomass carbon; X₁₃:微生物量氮 Soil microbial biomass nitrogen; X₁₄:平均颜色变化率 Average well color development.

图 4 主要影响因子的主成分分析

Fig. 4 Principal components analysis for the main influence factors



1:NR;2:SP; 3:IS1; 4:IS2; 5:IS3; 6:IS4; 7:IS5.

图5 不同间套作处理的欧氏距离聚类树状图

Fig.5 Dendrograms of intercropping treatments using squared Euclidean distances

高、相对湿度低与土壤全氮含量低、有机质含量低、硝态氮含量低。

3)主要影响因子与产量间的相关分析。根据主成分分析和聚类分析的结果,对花生产量与第1、第2主成分中权重系数较大的主要影响因子之间的相关性进行分析的结果见表5。产量与土壤微生物量碳/氮含量呈显著或极显著的正相关,而与地表光照强度、土壤速效钾含量呈显著的负相关,其余因子与产量相关性不显著。各主要影响因子间的相关性分析显示:光照强度与相对温度间呈极显著的正相关,微生物量碳与微生物量氮之间也存在显著的正相关;土壤微生物量氮与其他因子间的相关性最高,与微生物量碳、土壤铵态氮含量之间呈显著的正相关,与地表光照强度、土壤有效磷含量之间存在极显著或显著的负相关性;土壤速效钾含量与土壤有机质及pH都存在显著的正相关。因此,土壤速效钾含量、土壤微生物量碳/氮含量以及地表光照强度是影响花生产量的重要生态因子。

表5 主要影响因子与产量间相关系数¹⁾

Table 5 Correlation coefficients of peanut yield and the main influence factors

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	Y
X ₁	1.00												
X ₂	0.62**	1.00											
X ₃	-0.42*	-0.18	1.00										
X ₄	0.16	-0.25	-0.02	1.00									
X ₅	0.30	0.57**	0.03	-0.27	1.00								
X ₆	0.33	0.47*	0.29	-0.26	0.24	1.00							
X ₇	0.35	-0.06	-0.20	0.21	0.10	-0.08	1.00						
X ₈	-0.57**	-0.36	0.21	-0.28	0.10	-0.23	-0.25	1.00					
X ₉	0.11	0.01	0.00	-0.03	0.38	-0.21	0.23	-0.19	1.00				
X ₁₀	0.37	0.16	0.21	-0.13	0.34	0.53*	0.52*	-0.21	0.23	1.00			
X ₁₁	-0.31	-0.32	-0.10	-0.06	0.09	-0.17	0.03	0.16	0.01	0.04	1.00		
X ₁₂	-0.56**	-0.38	0.11	0.02	-0.19	-0.22	-0.24	0.42*	-0.43*	-0.20	0.63*	1.00	
Y	-0.47*	-0.16	0.00	0.03	-0.01	-0.30	-0.33	0.19	-0.36	-0.44*	0.48*	0.58**	1.00

1) X₁:光照强度 Light intensity; X₂:相对温度 Relative temperature; X₃:相对湿度 Relative humidity; X₄:土层温度 Soil temperature; X₅:全氮 Total N; X₆:有机质 Organic matter; X₇:pH; X₈:铵态氮 NH₄⁺-N; X₉:有效磷 Available P; X₁₀:速效钾 Available K; X₁₁:微生物量碳 Soil microbial biomass carbon; X₁₂:微生物量氮 Soil microbial biomass nitrogen; Y:产量 Yield.

3 讨论

3.1 土壤养分状况

间套作系统中由于不同作物对养分的敏感程度不同,以及竞争力、成熟度、吸收峰值、生理生化特性的差异,因而可以利用不同土壤层次、区域和不同形态的养分,促进间套作作物根际土壤养分利用优势的形成。研究发现,大豆与茶树间作可显著地提高

土壤全氮含量^[8],蚕豆/玉米、豌豆/玉米间作可以减少土壤中硝态氮的累计与淋溶^[14],麦豆间作能增加土壤有效磷与缓效磷含量,大豆/玉米间作可以在一定程度上提高土壤可溶性养分的含量^[7]。

本研究发现,与单作相比,间套作条件下土壤铵态氮含量有较大幅度增加,可能是在间套作体系中,甘蔗根区对花生根区氮素的转移利用会进一步刺激和促进花生根系的固氮作用。同时,间套作条件下

土壤硝态氮含量显著降低,减少土壤中硝态氮的淋溶,从而促进作物对氮素的吸收与利用,这与叶优良等^[15]的研究报道一致。但是,间套作对土壤全氮、有机质、有效磷的影响不显著。在本研究中,土壤速效钾含量与产量呈负相关,这有可能是本试验田土壤速效钾的含量偏高,完全满足作物的生长,作物在这方面不存在胁迫作用。

3.2 土壤微生物状况

土壤微生物生物量对土壤环境因子的变化极为敏感,土壤微生物生物量的变化,能够非常灵敏地反映土地利用和管理上的差异,常作为由不同耕作措施引起土壤生物学性质变化的指标^[16]。章家恩等^[7]报道,大豆/玉米间作可以使土壤细菌、放线菌和真菌数量在4个生育期都明显提高,并达到显著性差异。相关研究表明,作物间作不仅可以提高土壤微生物的数量,还可以改变土壤微生物的群落结构^[17]。

本研究发现,合适的间套作播期处理能显著提高土壤微生物量碳/氮的含量,IS2处理的效果最显著,较单作相比,分别提高53.90%和33.23%,其次为IS3处理。其中,NR处理微生物量碳/氮的含量最高,与王光华等^[18]的研究结果相似。这可能是由于NR处理受到的人为活动干扰强度弱,生态系统环境比较稳定,加之又有大量的植物残体还田,并通过这些植株有机体的分解和根系分泌物向土壤中提供碳源物质。合适的间套作播期处理还能显著提高土壤微生物的整体代谢活性和群落结构多样性,其中,IS3处理AWCD最高,显著高于单作处理(SP)AWCD。其中一个重要的原因就是间作的不同作物会产生不同的特异根系分泌物,并形成与之相适应的根际微生物群落,间作作物根系相互交错庞大,产生了丰富多样的根际分泌物^[19]。

3.3 田间小气候状况

间套作不仅对土壤理化性状有显著的改善,而且对田间小气候也有明显的改善。沈洁等^[20]研究表明,茶树与苜蓿间作,盛夏季节茶树苜蓿复合作用系统大大削弱了系统受到的太阳辐射;同时,与单作相比,茶树-苜蓿间作中空气温度逐渐降低,而相对湿度升高。宋同清等^[21]研究表明,茶树与白三叶间作系统在土壤不同深度、不同观察时刻具有升温时降温 and 降温时增温保温的双向调控作用,降低了各土层日较差,增加了同一土层温度的稳定性,延缓和缩短了过度高温时间。本文的研究结果与上述报道

一致。

3.4 产量

豆科和禾本科间作能够提高禾本科作物的产量,但对豆科作物产量的影响存在差异,有的无显著影响,有的甚至减产^[22-23]。本研究发现,甘蔗花生间套作对花生产量无负面影响,相较于大豆单作还有增加的趋势。其中,IS3处理在花生结荚数、百粒重、产量方面,显著高于单作处理及其他间套作处理。此外,甘蔗花生间套作不同播期处理对甘蔗的产量及农艺性状没有显著影响。所以,合适的间套作播期处理有着显著的增产效果。

参 考 文 献

- [1] 陈阜,逢焕成. 冬小麦/春玉米/夏玉米间套作复合群体的高产机理探讨[J]. 中国农业大学学报, 2000, 5(5): 12-16.
- [2] 李志贤,王建武,杨文亭,等. 甘蔗/大豆间作减量施氮对甘蔗产量、品质及经济效益的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 713-719.
- [3] 杨文亭,李志贤,冯远娇,等. 甘蔗-大豆间作对大豆鲜荚产量和农艺性状的影响[J]. 生态学杂志, 2012, 31(3): 577-582.
- [4] 毛吉贤,石书兵,马林. 免耕春小麦套种牧草土壤养分动态研究[J]. 草业科学, 2009, 26(2): 86-90.
- [5] 宋同清,肖润林,彭晚霞. 覆盖与间作对亚热带丘陵幼龄茶园土壤环境和生产的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 60-64.
- [6] 焦念元,宁堂原,赵春,等. 玉米花生间作复合体系光合特性的研究[J]. 作物学报, 2006, 32(6): 917-923.
- [7] 章家恩,高爱霞,徐华勤,等. 玉米/花生间作对土壤微生物和土壤养分状况的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(7): 1597-1602.
- [8] 黎健龙,涂攀峰,陈娜,等. 茶树与大豆间作效应分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(7): 2040-2047.
- [9] 刘高远,郭天文,谭雪莲,等. 不同栽培方式下马铃薯土壤微生物区系的动态变化[J]. 华中农业大学学报, 2014, 33(4): 19-24.
- [10] 孟庆宝,方锋学,周艳霞,等. 甘蔗间种菜用大豆对蔗田土壤养分的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(5): 186-189.
- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [12] VANCE E D, BROOKES P C, JENKINSON D S. An extraction method form easuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biol Biochem, 1987, 9(6): 703-707.
- [13] 时鹏,高强,王淑平,等. 玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6173-6182.
- [14] 叶优良,李隆,孙建好. 3种豆科作物与玉米间作对土壤硝态氮累积和分布的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4): 818-823.
- [15] 叶优良,孙建好,李隆,等. 小麦/玉米间作根系相互作用对氮素吸收和土壤硝态氮含量的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21

- (11):33-37.
- [16] CHAPMAN S J, CAMPBELL C D, PURL G. Native woodland expansion: soil chemical and microbiological indicators of change[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35: 753-764.
- [17] 宋亚娜, MARSCHNER P, 张福锁, 等. 小麦/蚕豆、玉米/蚕豆和小麦/玉米间作对根际细菌群落结构的影响[J]. *生态学报*, 2006, 26(7): 2268-2274.
- [18] 王光华, 金剑, 韩晓增, 等. 不同土地管理方式对黑土土壤微生物量碳和酶活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(6): 1275-1280.
- [19] 贺永华, 沈东升, 朱荫涓. 根系分泌物及其根际效应[J]. *科技通报*, 2006, 22(6): 761-766.
- [20] 沈洁, 董召荣, 朱玉国, 等. 茶树-苜蓿间作条件下主要生态因子特征研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2005, 32(4): 493-497.
- [21] 宋同清, 王克林, 彭晚霞, 等. 亚热带丘陵茶园间作白三叶草的生态效应[J]. *生态学报*, 2006, 26(11): 3647-3655.
- [22] GHOSH P K, TRIPATHI A K, BANDYOPADHYAY K K, et al. Assessment of nutrient competition and nutrient requirement in soybean/sorghum intercropping system [J]. *European Journal of Agronomy*, 2009, 31: 43-50.
- [23] MARIOTTI M, MASONI A, ERCOLI L, et al. Above- and below-ground competition between barley, wheat, lupin and vetch in a cereal and legume intercropping system[J]. *Grass and Forage Science*, 2009, 64: 401-412.

Effects of different sowing times of peanut on ecological factors of sugarcane-peanut intercropping and peanut yield

FANG Yue^{1,2} SHEN Xue-feng¹ CHEN Yong¹ CHEN Fu³ ZHANG Hai-lin³

1. *Weed Science Laboratory, College of Agronomy, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;*

2. *Audit Center of Agricultural Comprehensive Development of Huzhou, Huzhou 313000, China;*

3. *College of Agronomy and Biotechnology/Key Laboratory of Farming System of Ministry of Agriculture, China Agricultural University, Beijing 100193, China*

Abstract Sugarcane (*Saccharum sinensis* Roxb) is an important sugar crop produced mainly in the subtropical and tropical regions of China. Wide row spacing (1.0-1.2 m) and initial slow growth rate of sugarcane offers a suitable space and resources (water, nutrition, light) niche for intercropping in sugarcane. A field experiment was conducted to study the effects of different sowing times of peanut on ecological factors of sugarcane-peanut intercropping and peanut yield. Seven treatments were used to evaluate appropriate sugarcane-peanut intercropping treatments. Results showed that peanut yield and the agronomic traits significantly increased in appropriate sugarcane-peanut intercropping treatments, especially in the IS3 treatment. The intercropping treatments significantly increased the concentration of soil ammonium nitrogen with 57.66%-85.69%. Meanwhile, it significantly decreased the concentration of soil nitrate nitrogen, especially in the IS3, IS4, IS5 treatments, which decreased by 24.33%-26.76%. The functional diversity and metabolic activity of soil microbial community was improved under intercropping, so did with soil microbial biomass carbon and nitrogen. Intercropping improved the condition of field microclimate. The soil microbial biomass carbon and nitrogen were significantly correlated with yield. It is indicated that appropriate sugarcane-peanut intercropping could obviously increase the peanut yield and the agronomic traits, which had significant ecological effects.

Key words intercropping; sugarcane; peanut; soil nutrient; soil microbe