

木薯花生间作系统的生态稳定性研究^①

胡飞龙¹, 高倩圆¹, 房静², 黄欠如³, 周静⁴, 胡锋^{1*}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 南京财经大学法学院, 南京 210046;

3 江西省红壤研究所, 江西进贤 331717; 4 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

摘要: 通过田间试验研究了木薯花生间作模式对生态系统稳定性的影响, 并对土壤含水量和 pH 等进行关联分析。结果表明: ①环境发生突变时, 间作措施下花生对环境变化抵抗力要优于纯作措施, 体现出间作优势; 突变结束后, 纯作措施下花生的光合有效速率 (Pn) 恢复能力则更强, 体现出纯作优势。②借助叶温模型的构建, 创建间作优势度 (intercropping dominance, ID) 这一概念, 进而得出木薯花生间作模式的 ID 为 +0.83%, 说明木薯花生间作存有间作优势。③对生态环境的影响方面, 木薯花生间作无疑提高了水分保持效能, 但从一定程度上加剧了红壤的酸化。

关键词: 日全食; 间作; 叶温; 模型; 酸化

中图分类号: S151.9^①

单一化种植容易造成多样性的丧失, 从而引起土壤侵蚀、养分流失、病虫害增加, 所以, 在建立稳定的生态系统方面, 就需要建立起多样化的作物间套作体系, 以利用同等条件的技术和资源, 提高经济效益。最近很多相关间套作栽培的研究表明, 比起单一化纯作措施, 间套作无疑更为高产和高效^[1]。

在间套作系统中, 作物间的竞争与互补是影响群体产量的重要原因, 而且, 间作作物生长期根系分布在时空上的错位更是作物群体高产、高效的重要原因。空间上的错位我们可以称为作物的互补与竞争, 这也是最多涉及的领域; 而时间上的错位, 我们不妨称为后补偿效应^[2-3], 比如木薯花生间作, 木薯就可以在花生收获后再生长一个月时间, 从而充分利用光热资源。

可以说, 传统农业的目的是获取最好的经济效益, 努力提高年间产量的稳定性, 现代农业则不仅要获得一定经济效益, 更要获得一定的生态效益, 防止农业生态生产力的长期衰退, 并通过生态系统自身的修复维持作物产量的稳定, 从而实现农业生产的可持续发展。理论上这些方面既不矛盾, 又能相互促进, 然而, 农业的发展, 从原始的非农业生态系统演变为作物生态系统, 已然注定其结构和功能上的特殊差异。

现代研究中, 多数学者集中研究各种间作模式下的作物产量问题, 比如各种作物的间套种组合, 但仅

仅以产量来衡量作物间套作是否成功, 很少涉及间作模式下生态系统自身稳定性问题。产量的多少, 一年两年或许就可以说明问题, 但生态问题, 则涉及到农业的根本问题, 非短期内能研究明白, 所以, 这对如今追求可持续发展的农业来说, 无疑是舍本逐末, 毕竟只有生态系统的稳定, 才会有作物年间产量的稳定, 也才能以最小的投入获得最优的产出。

这样, 本文以日全食的影响为切入点, 把日全食视为一种环境突变因子来考察生态系统的稳定性, 同时兼顾土壤其他指标, 深入探讨生态系统内部稳定性问题, 为今后间套作研究和农业生产提供支持, 并通过对相关模型的构建, 力图建立一个相关间作优势的评价体系。

日食是自然奇观之一, 当月球遮住太阳并把它的影子投射到地球时就会发生, 长远以来日食就被当作天文学现象来看待, 并为人们所认识^[4-5]。日全食年年都会发生, 从世界范围来看, 大致每 3 年就可发生 2 次。但是每次能够观测到全食的只是一条很窄的地带, 宽度不过几十千米至几百千米。

我国尽管幅员辽阔, 但整个 20 世纪发生在境内的日全食也仅仅只有 6 次。2009 年 7 月 22 日, 500 年一遇的日全食奇观于当天上午发生, 全食带先后穿过西藏东南部、云南西北部、四川、重庆、湖北、湖南北部、安徽、江西北部、江苏南部和浙江北部, 全食带

①基金项目: 国家 863 计划项目 (2002AA2Z4331) 资助。

* 通讯作者 (fenghu@njau.edu.cn)

作者简介: 胡飞龙 (1985—), 男, 江苏连云港人, 硕士研究生, 主要从事恢复生态方面的研究。E-mail: hufeilong100@163.com

中心线在杭州湾入海(图 1)。图中阴影部分即为全食带,但全食带内如南京、上海等一线城市大都为阴雨天气,不利进行光合测量;江西虽处全食带边缘,但天气状况良好,可见日偏食,适合进行野外光合测量,所以选择江西鹰潭作为此次试验测量点(日食经过当地时间上午 9 时至 9 时 38 分)。

1 材料与方 法

1.1 试验背景

试验地设在江西省刘家站三分场,供试土壤为第三纪红砂壤发育的红壤,其部分理化性质详见表 1。木薯品种选择华南 205,花生品种选择赣花 1 号,试验采用随机区组设计,小区面积 12 m × 8 m,分间作和纯作 2 种处理、3 个重复,共 6 个小区,试验区四周均设有保护行。

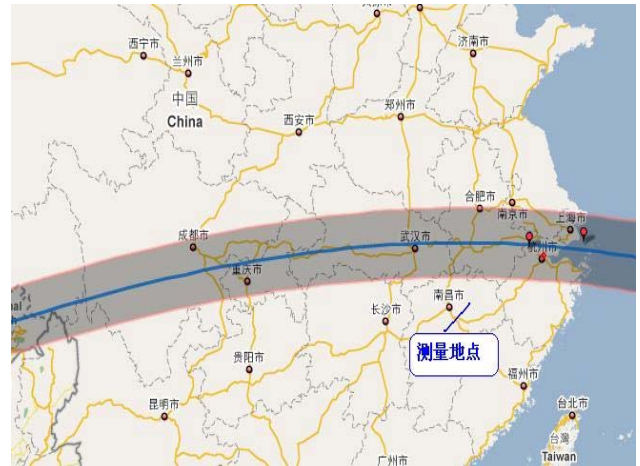


图 1 2009 年 7 月 22 日日全食轨迹

Fig. 1 The track of solar eclipse on July 22, 2009

表 1 土壤部分背景值

Table 1 Background levels of soil

土壤层次 (cm)	pH	土壤含水量 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	速效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
0~15	4.65 ± 0.01	190.63 ± 0.07	62.04 ± 0.59	9.69 ± 0.05	142.86 ± 0.47
15~30	4.65 ± 0.01	194.04 ± 0.03	46.59 ± 3.80	10.54 ± 0.11	125.00 ± 1.14
30~45	4.64 ± 0.01	212.72 ± 0.05	36.98 ± 1.28	4.30 ± 0.10	139.29 ± 1.45

1.2 试验方法

1.2.1 光合测量 于日全食当天(7月22日),选取大小、长势一致的 3 株花生,使用 LI-6400 便携式光合测定系统,对花生选择从顶部向下第 8 片叶,从 6:00—18:00 每 2h 一次对其光合进行测定。同时,于日全食第二天(7月23日),再次对植株光合日变化进行测定。

测定的指标有:叶片的净光合速率(Pn, CO₂ μmol/(m²·s))、蒸腾速率(Tr, H₂O mmol/(m²·s))等生理因子和大气温度(Ta, °C)、相对湿度(RH, %)等环境因子。同时利用公式计算气孔限制值(Ls, %)和叶片瞬时水分利用效率(WUE, CO₂ μmol/mol),即 Ls = 1 - Ci/Ca^[6]; WUE = Pn/Tr^[7]。

1.2.2 土样采集 花生纯作的采样点随机选取,木薯间作的采样点分别选择距木薯第 1、3、5 列处,采集时将土样分为 0~15、15~30、30~45 cm 3 层,带回实验室测量各项理化指标。

1.3 数据分析

试验数据统一采用 Excel 和 SAS 统计软件进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 光合作用下系统稳定性分析

2.1.1 日全食对花生光合有效速率 Pn 的影响 按照试验安排,8:00 的测量时段正发生在日全食期间,此时的光合数据即体现生态系统(作物)对环境的抵抗力;10:00 的测量则在日全食过后,此时的光合数据即体现生态系统(作物)自身的恢复力,相关数据见图 2。

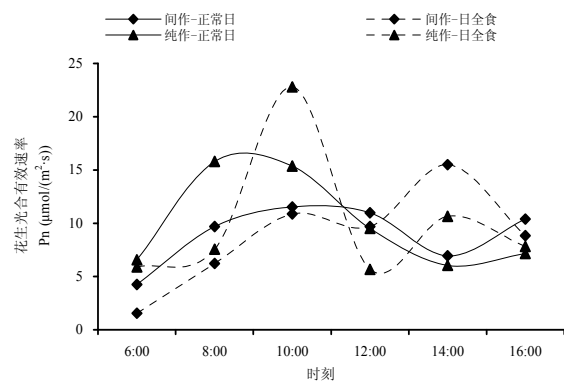


图 2 不同处理下花生 Pn 对日全食的反应

Fig. 2 Diurnal variation of Pn under different treatments impacted by solar eclipse

在正常天气情况下,不同处理下花生的 Pn 均呈现典型的“双峰”曲线,凌晨阶段是光合的低潮期,此时花生的光合有效速率均最低,之后开始上升过程,午后 14:00 开始出现另外一个低谷,所不同的是,纯作花生在 8:00 出现高峰,而间作模式下花生的 Pn 峰值延迟到 10:00 才出现。

受日全食影响,纯作花生在 8:00 时 Pn 数值由正常情况下的 $15.81 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 降低至 $7.57 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ (斜率 k 由 4.62 降至 0.84),间作模式下的花生 Pn 则由正常的 $9.70 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 降低至 $6.24 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ (斜率 k 由 2.72 降至 2.34),说明间作模式下花生 Pn 变化幅度较小,间作生态系统体现了比纯作系统更高的生态稳定性(此时表现为抵抗力),这体现了间作的优势。

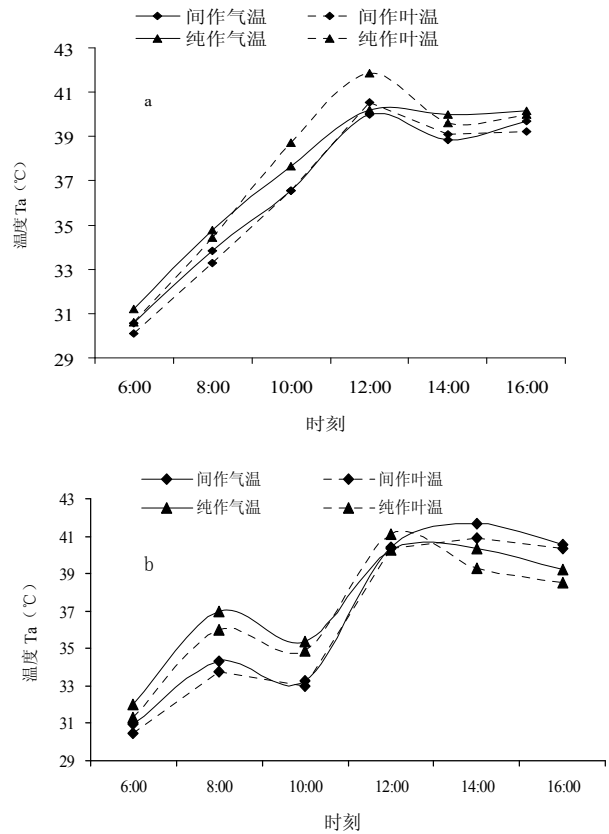
外界干扰结束后,生态系统就会开始自我恢复的过程。日全食结束以后,花生的 Pn 均呈现了上升趋势。10:00 时,纯作花生的 Pn 恢复相当迅速,由 8:00 时的 $7.57 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 跃升至 $22.81 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ (斜率 k 由正常的 -0.23 上升至 7.62),间作模式下花生的 Pn 恢复比较缓慢,由 8:00 时的 $6.24 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 恢复至 $10.88 \mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ (此时斜率 k 由正常的 0.92 上升至 2.32),这充分说明纯作模式下生态系统的恢复能力要高于间作系统,这又体现了一定的纯作优势。

2.1.2 花生叶片自降温系统和间作优势模型的构建

叶片的蒸腾作用使得叶片温度低于大气温度,表现为自降温能力。高温逆境下,温度成为光合速率提高的主要限制因子,叶片温度低将有利于光合速率的提高。因为测量前后的气温有些许差别,为减少误差,所以间作和纯作条件下的气温将分开表示,测量间作时的气温表示为间作气温,纯作测量时的大气温度表示为纯作气温(图 3)。

由图 3a 可以看出,无论间作还是纯作,叶温和气温均遵循相似的规律,即典型的“单峰”曲线:凌晨最低(30°C 左右),至 12:00 达到最大值(40°C 左右),之后开始缓慢下降过程。具体来看,在早晨(6:00—8:00)和晚上(16:00),不论间作还是纯作花生的叶面温度均要低于大气温度,所不同的是,纯作条件下花生的叶面温度 10:00 时开始高于大气温度,一直持续到 12:00,这种状况在间作模式下则有所延迟,其在 12:00 出现,持续到 14:00。

由图 3b 可以看出,受日全食影响,总体上叶面温度都要低于大气温度,这说明作物为了应对恶劣环境,对自身已经进行了调整,可以很好地适应环境的变化,但此时总体来看,纯作花生的叶温日均降低 0.72°C ,降低幅度要远远大于间作模式下的 0.28°C 。



(a, 正常天气, b, 日全食天气)

图 3 纯作或间作措施下花生叶温和气温的日变化

Fig. 3 Diurnal variations of leaf temperature and air temperature under different treatments

那么,究竟何时体现间作优势,又可否通过叶温来量化?这些问题尚无人来探讨,但相关间作优势的模型倒是很多,最典型的是 Willey 提出的 LER 模型^[8],可以以土地当量比(LEP)量化间作产量优势,如在小麦玉米间作系统中, $LER = Y_{iw}/Y_{sw} + Y_{ic}/Y_{sc}$ (其中 Y_{iw} 表示间作小麦产量, Y_{sw} 表示单作小麦产量; Y_{ic} 、 Y_{sc} 则分别表示纯作、单作玉米产量),若 $LER > 1$ 表明存在间作优势, $LER < 1$ 则存间作劣势,同样,针对两种作物自身的竞争力, Willey 也提出 A_{wc} 模型^[9],以 A_{wc} 与 0 大小的比较说明二者竞争力大小。

另外,也有针对生态功能的模型创建,如路海东等^[10]通过不同粮草带间作种植模式的比较,发现粮草带带距越窄,粮食增产效果和整体水土流失防治效果越佳,但也仅局限于生态防治方面。关于叶温和气温的相关研究,很多学者已经进行了尝试。如豆胜等^[11]对海棠、夹竹桃、月季和海桐花 4 种双子叶植物,彭辉等^[12]对干热河谷 4 个树种的研究,他们都在研究叶温和蒸腾速率的关系,吴强^[13]也通过对温室中番茄叶

温变化特征的研究揭示了叶温的一些基本规律等等，只是这些研究还是停留其表面特征上，尚没有形成一种量化作物优势的指标。

所以，借鉴已有的模型，以及叶片自降温的原理（即叶面降温有利于光合的进行，以叶温低于气温为正，反之为负），特提出以下模型：间作优势度 $ID = [(间作气温 - 间作叶温) / 间作气温 - (纯作气温 - 纯作叶温) / 纯作气温] \times 100\%$ ，即把间作优势通过叶温量化为间作优势度（intercropping dominance, ID），借以说明间作模式下生态系统稳定性问题（表 2）：

表 2 间作优势度的表达

Table 2 Dominant expression of intercropping dominance

间作优势度 (ID)	参考意义
ID > 0	存有间作优势，偏离越多，说明间作优势越强
ID = 0	不存有间作优势，可仅从经济（产量）上考量是否采取间作模式
ID < 0	不存在间作优势，偏离越多，说明间作越不可行

由该模型可以看出，正常天气下，木薯花生间作系统的间作优势度为 + 0.83%，说明此时体现出足够的间作优势，或者说体现出一定的生态稳定性。间作优势度只在早晨 6:00 和下午 14:00 出现负值（分别为

-0.43% 和 -1.71%），这也符合实际情况：早晨 6:00 阳光刚升起，间作高秆作物会出现短暂遮光，这无疑影响了一部分光合速率；中午 14:00，作物刚从“午休”中恢复，Pn 处于一天的另一个“低谷”（图 2），此时的高秆作物同样影响着植物 Pn 的复苏。

另外，如前文所述，受日全食的影响，纯作措施下花生叶温的降低幅度要远远大于间作模式，此时体现的是纯作优势而非间作优势，借助表 3 中的数值可以发现，日全食下间作优势度均值为 -0.32%，的确未体现出间作优势。

2.2 土壤含水量及水分利用效率的日变化

由方差分析可知，土壤含水量以及水分利用效率（WUE）均呈显著差异（ $P < 0.01$ ）（图 4、图 5），通过 WUE 数据可以看出，间作系统的水分利用效率（ $2.91 \mu\text{mol/mol}$ ）要显著低于纯作系统（ $3.38 \mu\text{mol/mol}$ ），这样也解释了为什么间作土壤的水分含量要高于纯作。在 3 种土壤深度，依然遵循扰动原则，即表层波动较大（间作 15.61%，纯作 14.41%，高 1.2 个百分点），中层次之（高 0.41 个百分点），底层最小（基本持平）。所以，间作模式可以产生很好的水分效益，这在于干旱逆境下无疑是很好的选择，也为今后水土保持工作提供一个方向。

表 3 纯作或间作措施下花生叶温和气温的日变化

Table 3 Diurnal variations of leaf temperature and air temperature under different treatments

时刻	间作叶温 (°C)	间作气温 (°C)	纯作叶温 (°C)	纯作气温 (°C)	间作优势度 ID (%)	
					正常日	日全食
06:00	30.10 ± 0.41	30.58 ± 0.48	30.60 ± 0.08	31.22 ± 0.03	- 0.43	- 0.84
08:00	33.27 ± 0.19	33.86 ± 0.16	34.42 ± 0.34	34.77 ± 0.14	+ 0.70	- 0.99
10:00	36.54 ± 0.47	36.57 ± 0.16	38.73 ± 0.45	37.67 ± 0.21	+ 2.92	- 0.35
12:00	40.55 ± 0.64	39.98 ± 0.16	41.87 ± 1.23	40.19 ± 0.31	+ 2.77	+ 2.16
14:00	39.12 ± 0.83	38.82 ± 0.16	39.62 ± 0.32	40.00 ± 0.14	- 1.71	- 0.74
16:00	39.24 ± 0.57	39.68 ± 0.32	39.99 ± 0.24	40.14 ± 0.12	+ 0.74	- 1.33
平均	36.58	36.47	37.33	37.54	+ 0.83	- 0.32

注：数据为平均值 ± 标准差（仅列出正常天气下的数值）。

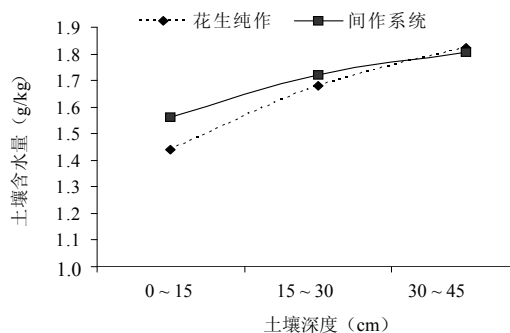


图 4 不同土壤深度含水量变化

Fig. 4 Moisture contents at different soil depths

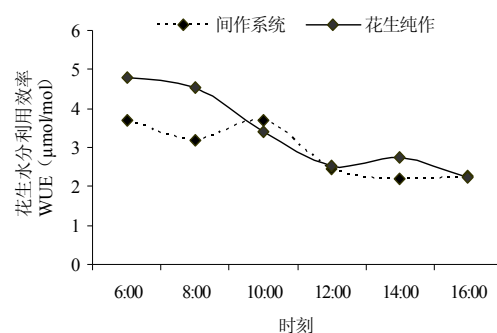


图 5 花生水分利用效率 WUE 日变化

Fig. 5 Diurnal variation of WUE

2.3 不同处理对红壤酸化的影响

以往的研究表明,生态系统演替过程中,任何层次土壤的 pH 都减少,随深度增加,减少量降低;演替初期 pH 减少较快,之后逐渐减慢^[14-15]。

图 6 很好地吻合了这一规律,可以说,无论纯作还是间作,随着生态系统的演替,其酸性都是增加的,而且越是接近表层,土壤 pH 的波动越大,在表层土(0~15 cm)中,间作下土壤 pH 为 4.55,纯作措施下为 5.06,差值高达 0.51,中层土(15~30 cm)受根系波动较小,pH 差值为 0.16,而深层土(30~45 cm)则因远离干扰而趋于稳定,pH 值均为 4.35。这说明,木薯花生间作无疑加剧了红壤的酸化。

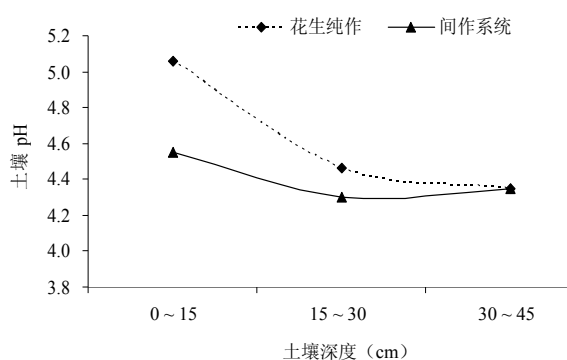


图 6 不同土壤深度 pH 的变化
Fig. 6 pH values at different soil depths

3 结果与讨论

3.1 生态系统的抵抗力和恢复力

日全食发生时,花生的 Pn 均出现不同程度的下降,但不同处理下的下降幅度不同,间作措施下花生受日全食影响很小,纯作措施下花生 Pn 下降则较为明显。这说明,在对外界环境的抵抗力上,间作措施下生态系统有更高的稳定性,优于纯作系统。

但生态系统的稳定,除了对突变环境(日全食)的抵抗力外,之后还必须有一定的恢复能力,恢复力在很大程度上影响着生态系统的稳定性。恢复力 resilience 源自拉丁文 resilio,从 20 世纪 70 年代后,恢复力引申为承受压力的系统恢复和回到初始状态的能力^[16]。Holling^[17]首次将恢复力的概念引入生态系统中,他将恢复力定义为“生态系统吸收变化并能继续维持的能力量度”。

由以上分析可知,在作物的恢复力方面,间作系统并没有体现独特优势,相反却是纯作下花生的 Pn 恢复更快。或许可以这么认为,作为作物种群来讲,在千万年进化中,要经常遇见突发的自然灾害(如日全

食),不同间作措施毕竟是现今人工的产物,在历史上并无普遍意义,原始状态下大都为纯作形式,所以纯作措施下作物恢复力更强,生态系统更趋于稳定,高的恢复能力对作物竞争无疑是有利的,作物正是在多年的进化过程中形成的自我保护机制,这样有利于真正获得生存优势。

3.2 间作模式对红壤水土保持的影响

如前所述,木薯花生间作有利红壤的水分保持,而水分利用效率则与产量呈极显著正相关关系^[18]。但在大田条件下,作物田间耗水量和产量受很多因素的影响,因而作物产量、耗水量和水分利用效率之间并不呈简单的线性关系,所以需要在农业实践中慢慢摸索和完善。

同时,在含水量方面,除考虑间作系统对水分的影响外,还必须考虑作物自身的最适含水量,这样才可以选择合适的间作模式,从而得到最高的产量。杨建伟等^[19]就通过研究发现,有些树种总耗水量、总生物量均为适宜水分下最高,严重干旱下最低,在相同水分条件下,各树种的最适宜含水量也不尽相同。这无疑水分含量研究的一个新思路。

3.3 间作模式与土壤酸化

有关系统演替中土壤 pH 变化的研究较多,但主要针对自然生态系统,对农田生态系统 pH 变化的研究较少。木薯花生间作,无疑加剧了土壤的酸化,但长期种植单一作物,通过秸秆和籽粒带走的盐基离子长期得不到补充也会导致土壤离子的不平衡,也会加速酸化^[20],从这一点来说,无论是生态系统自身的演替,还是人为施肥的影响^[21],土壤都不可避免地产生着酸化的后果。

植物在生长时,从土壤溶液中吸收氮和盐基阳离子,根据土壤中的酸度平衡关系可知,植被对盐基阳离子的吸收是重要的土壤酸度源,而植被对氮的吸收则是一个碱度源。因此,植被吸收所产生的酸度应由两者之差来表示^[23]。在木薯花生间作系统中,因间作木薯的缘故,作物增加了对盐基阳离子的吸收,从而导致土壤进一步酸化。

土壤酸化将导致土壤全磷、全钾、全钙和缓效钾等含量降低,土壤供应氮、磷、钾的能力下降^[22]。对于亚顶级生态系统(农田、人工林地和草地)只有保持一定的投入,才能维持生态系统的稳定,但在很多情况却增加了水土流失的风险^[24]。

所以,今后对作物间套作的研究,不该只考虑产量的高低,更应考量间作系统自身的稳定性,考量其对环境因子(如含水量、pH 值、微生物、氮、磷、钾

等)的影响;也不仅要研究某一阶段的指标变化,更应观察作物整个生长期的动态变化,以便系统地了解间作系统的生态稳定性以及其对环境和经济的影响,进而决定该间作模式是否值得大范围推广。

参考文献:

- [1] 齐万海,柴强.不同隔根方式下间作小麦玉米的竞争力及产量响应.中国生态农业学报,2010,18(1):31-34
- [2] 李隆,杨思存,孙建好,李晓林,张福锁.小麦/大豆间作中作物种间的竞争作用和促进作用.应用生态学报,1999,10(2):192-200
- [3] 张恩和,高宝.间套种植复合群体根系时空分布特征.应用生态学报,2003,8(14):1301-1304
- [4] Mitchell SA. Eclipses of the Sun. Fifth ed. New York: Colombia University Press, 1951: 482
- [5] Littman M, Willcox K. Totality: Eclipses of the Sun. Hawai'i. USA: University of Hawaii Press, 1991: 224
- [6] Berry J A, Downton WJS. Environmental Regulation of Photosynthesis. New York: Academic Press, 1982: 263-343
- [7] Fischer RA, Turner NC. Plant productivity in the Arid and Semiarid Zones. Annual Review of Plant Physiology, 1978, 29: 227-317
- [8] Willey RW. Intercropping-its importance and research needs. Part II. Agronomy and research approaches. Field Crops Abstract, 1979, 32: 73-85
- [9] Willey RW, Rao MR. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. Experimental Agriculture, 1980, 16: 117-125
- [10] 路海东,贾志宽,杨宝平,李永平,刘世新.宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较.生态学报,2010,30(21):5941-5948
- [11] 豆胜,马成仓,陈登科.4种常见双子叶植物蒸腾作用和叶温关系的研究.天津师范大学学报(自然科学版),2008,28(2):11-13
- [12] 彭辉,李昆,孙永玉.干热河谷4个树种叶温与蒸腾速率关系的研究.西北林学院学报,2009,24(4):1-4
- [13] 吴强,须晖,韩亚东.日光温室番茄叶温变化特性研究.沈阳农业大学学报,2008,39(5):618-620
- [14] Crocker RL. Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska. Journal of Ecology, 1955, 43: 427-448
- [15] Viereck LA. Plant succession and soil development on gravel outwash of the Muldrow Glacier, Alaska. Ecological Monographs, 1966, 36: 181-199
- [16] 高伟,韩孟孟,辛秀,杜林梅,叶功富.干扰理论及其对森林资源的影响.城镇绿化,2009,7(5):16-18
- [17] Holling CS. Resilience and stability of ecological systems. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 7(4): 1-23
- [18] 李良皓,韩晓增,李海波,宋春.黑土区不同施肥对大豆耗水量及水分利用效率的影响.土壤通报,2009,40(3):601-605
- [19] 杨建伟,梁宗锁,韩蕊莲,崔浪军.不同土壤水分含量对4个树种WUE的影响.西北林学院学报,2004,19(1):9-13
- [20] Poss R, Smith CJ, Hui FX. Rate of soil acidification under wheat in a semiarid environment. Plant Soil, 1995, 177: 85-100
- [21] 张永春,汪吉东,沈明星,沈其荣,许仙菊,宁运旺.长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响.土壤学报,2010,47(3):465-472
- [22] 黄运湘,曾希柏,张杨珠,林志灵,孙楠,王道龙.湖南省丘岗茶园土壤的酸化特征及其对土壤肥力的影响.土壤通报,2010,41(3):633-638
- [23] 段雷,黄永梅,郝吉明,周中平.中国植被对氮和盐基阳离子吸收速率及其在土壤酸化中的作用.环境科学,2002,23(3):68-74
- [24] 杨世琦,杨正礼.黄土高原生态系统演替过程中土壤有机质和pH值变化规律.水土保持研究,2008,15(2):159-163

Study on Ecological Stability of Cassava-peanut Intercropping

HU Fei-long¹, GAO Qian-yuan¹, FANG Jing², HUANG Qian-ru³, ZHOU Jing⁴, HU Feng¹

(1 *College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;* 2 *Institute of Law, Nanjing University of Finance & Economic, Nanjing 210046, China;* 3 *Red Soil Institute of Jiangxi Province, Jinxian, Jiangxi 331717, China;* 4 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Abstract: A field experiment was conducted to investigate the effect of cassava-peanut intercropping on stability of the ecosystem, and also an association analysis was taken on soil moisture and pH value. The results showed that: (1) When total solar eclipse occurred, peanuts under intercropping measures showed a higher resistance to the environment than pure measures, reflecting the advantage of intercropping; When the total solar eclipse happened, the restoration of net photosynthetic efficiency(Pn) of peanut under pure measures increased, reflecting the net advantage. (2) With the model of leaf temperature, a concept named intercropping dominance (ID) was created. The ID of cassava-peanut intercropping derived +0.83% which verified that cassava-peanut intercropping really had advantages under normal weather conditions. (3) While improved the performance of water retention undoubtedly, cassava-peanut intercropping also exacerbated the red soil acidification.

Key words: Total solar eclipse, Intercropping, Leaf temperature, Model, Acidification