



中国科学院成都生物研究所

CHENGDU INSTITUTE OF BIOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

岷江上游不同花椒种植模式下土壤微食物网对 极端降雨的响应

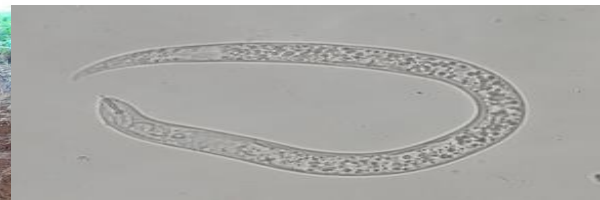
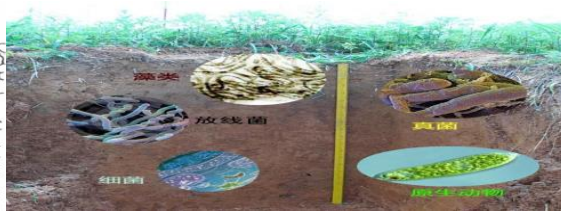
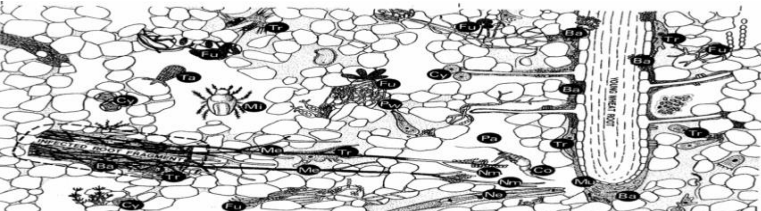
汇报人: 潘开文 研究员

汇报参加人员: 孙锋、潘开文、Akash Tariq、张林、孙晓铭、李自龙、
王思忠、熊勤犁、宋大刚、Olusanya Abiodun Olatunji

Email: pankw@cib.ac.cn

Website: http://sourcedb.cib.cas.cn/zw/rck/200908/t20090803_2296907.html

http://www.cib.ac.cn/yjxt/syjjpg/styjzx_103417/yjtz/pkwyjytz/201609/t20160908_4659937.html



报告内容

一、选题依据

二、研究现状

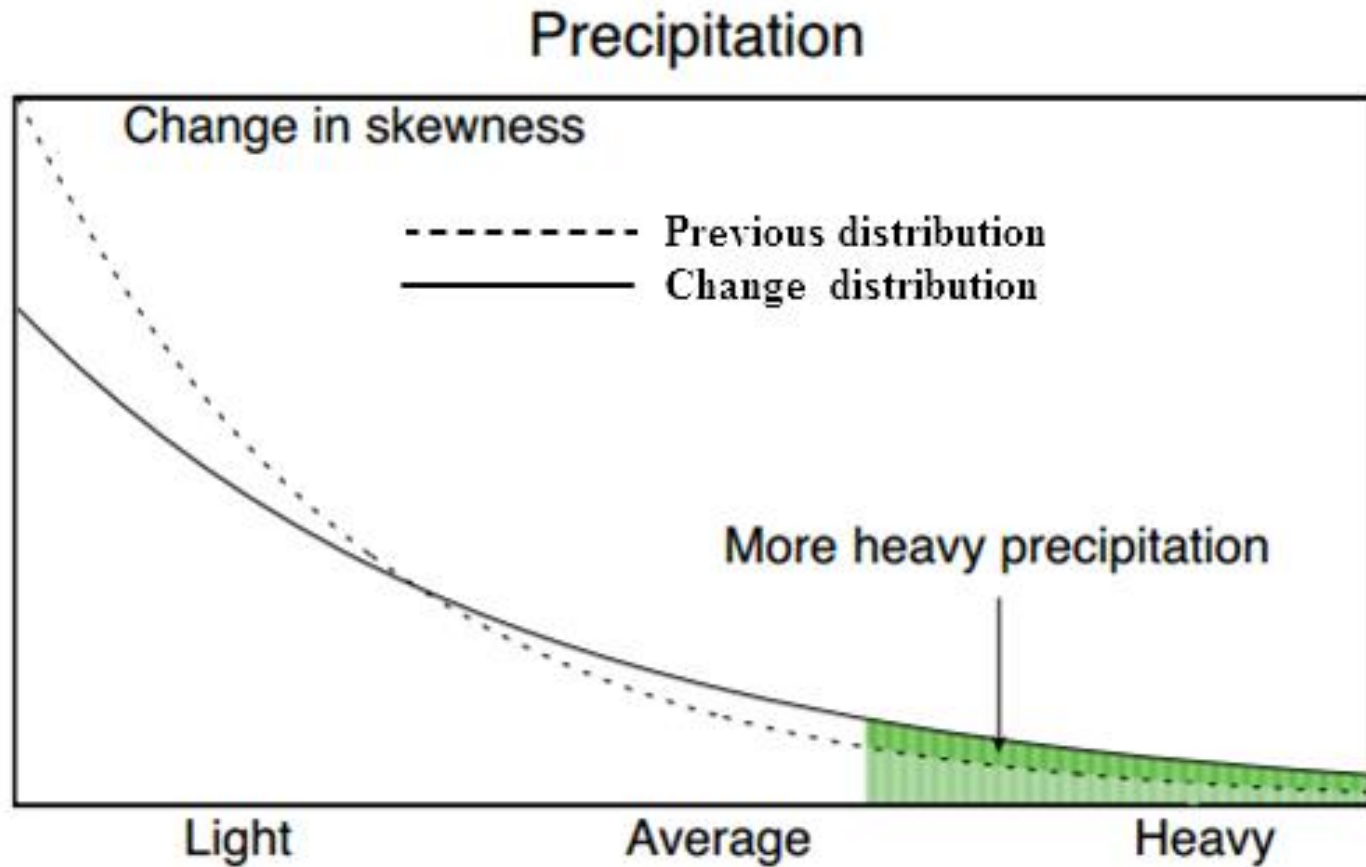
三、研究问题

四、实验设计

五、实验结果

六、研究结论

一 选题依据 1 全球气候变暖增加极端降雨



全球极端降雨呈增加趋势（IPCC 2013）

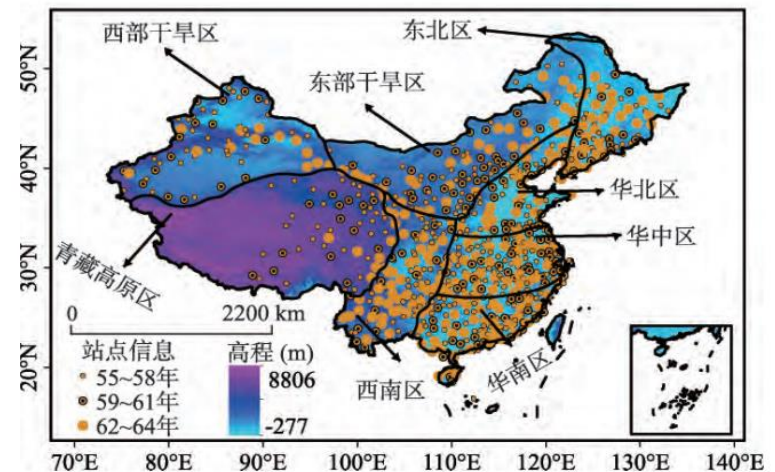
一 选题依据 2 中国异常降雨事件增多

研究表明异常降水事件在中国东部、**西南部**有明显增加（Cao et al., 2014）。

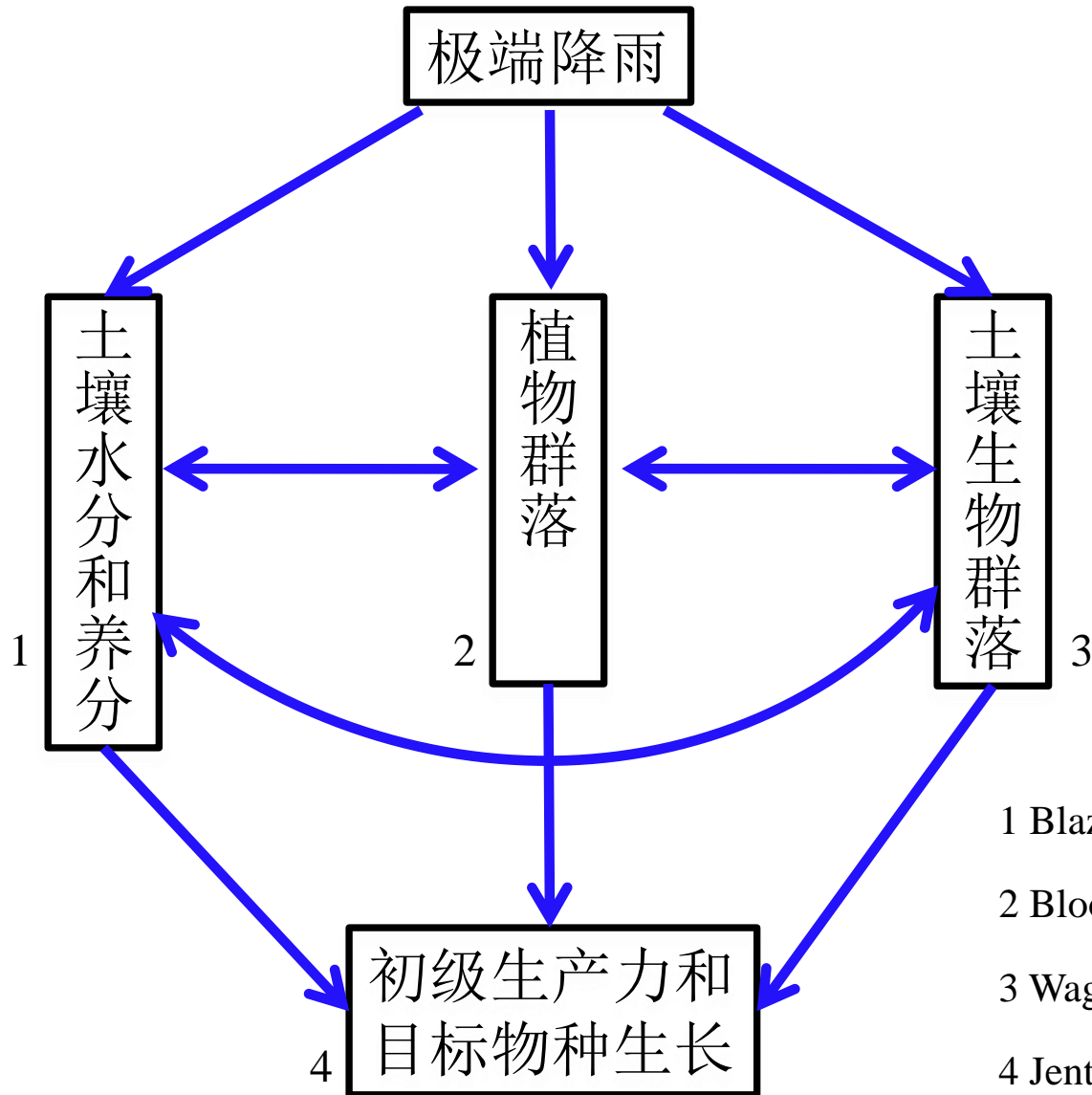
华中区、华南区和**西南部**极端降水量级呈上升趋势（顾西辉等 2016）。

1951—2014年

全国839个站点降雨数据



一 选题依据 3 极端降雨的影响



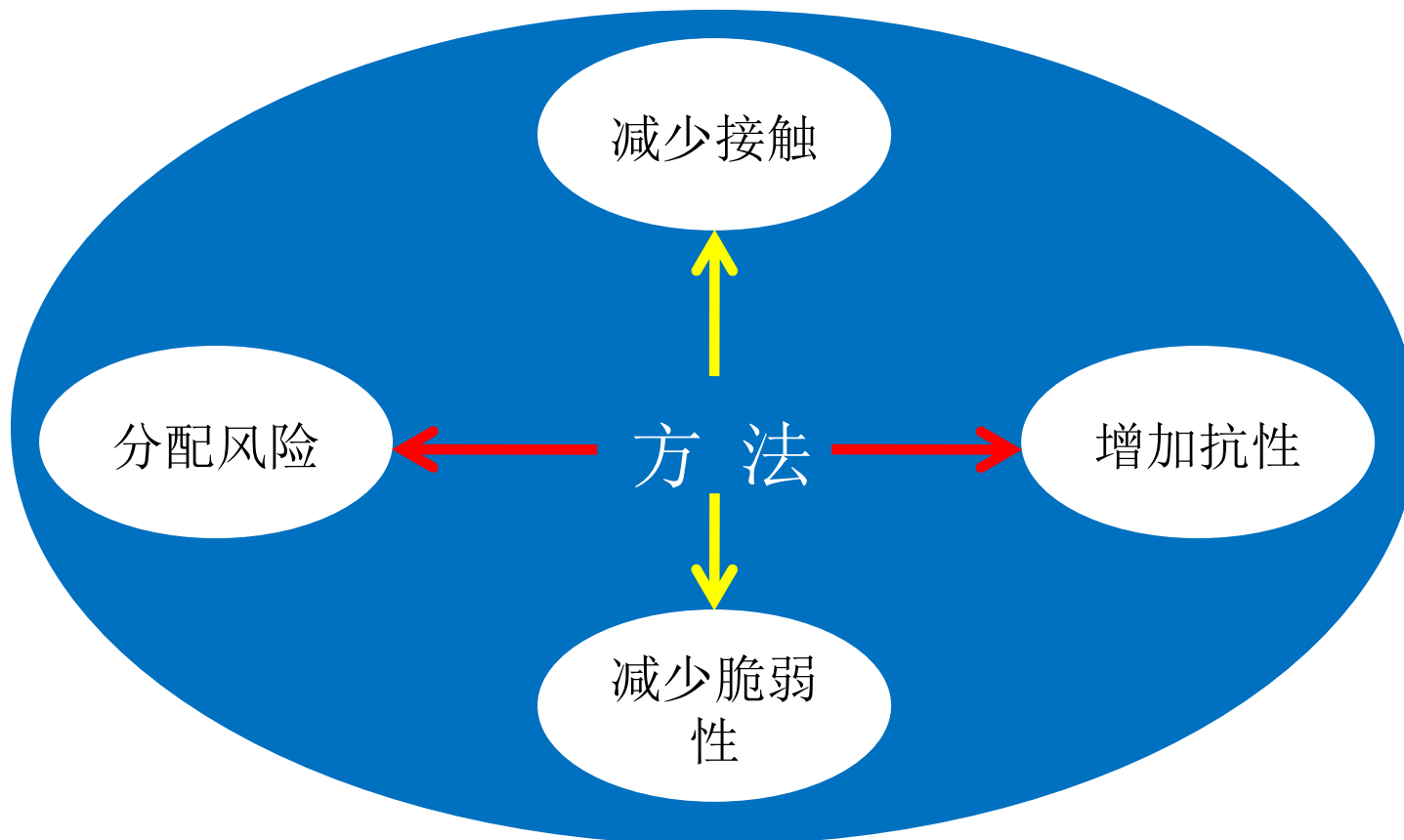
1 Blazewicz et al., 2014

2 Bloor and Bardgett 2012

3 Wagner et al., 2015

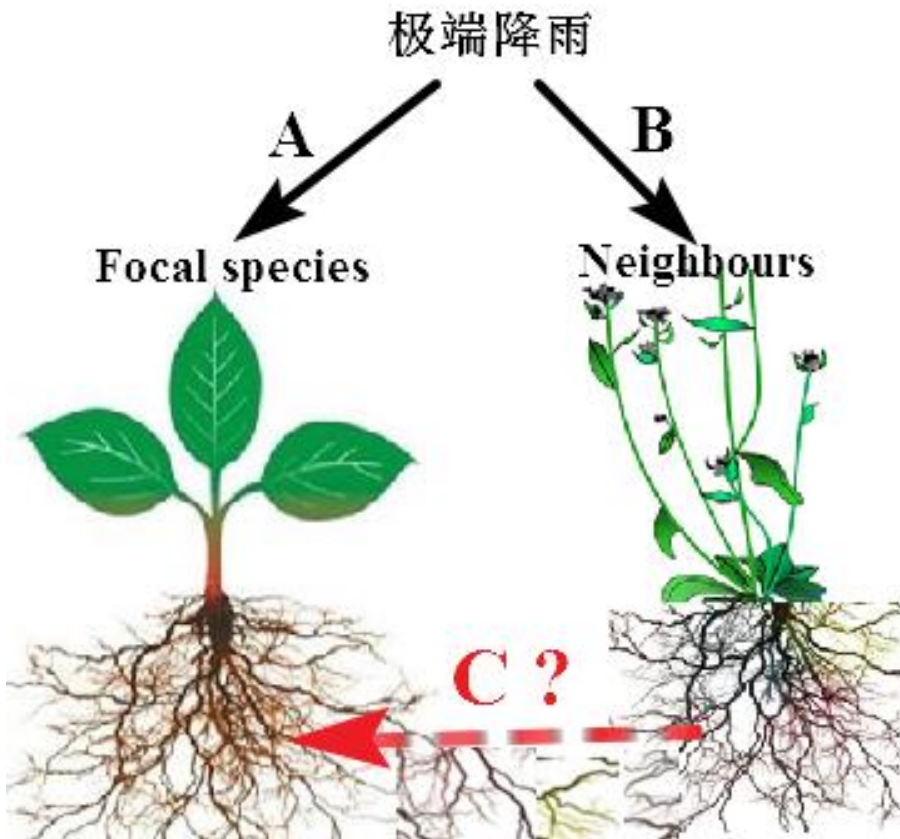
4 Jentsch et al., 2011

一、选题依据 4 应对极端风险策略



(IPCC 2012)

一 选题依据 5 植物应对风险策略依据



极端降雨：A,B 呼吸作用、光合作用受阻
(Pezeshki 2001)

抵抗策略

Avoidance strategies (Chen et al., 2013)

Tolerance strategies (Imaji and Seiwa 2010)
(增加根部非结构糖) 根茎比

根暴气 (Wagner et al., 2015)

C: 压力-梯度假设 (Bertness and Callaway 1994); 竞争 (Grant et al., 2014)

一 选题依据 6 土壤生物应对风险策略依据

微生物通过呼吸、聚合和转运到细胞外等方式处置细胞内溶质，使细胞水势和周围水势迅速平衡（Wood et al. 2001）

细菌倾向于生活在小的土壤孔隙，抗干扰能力强，真菌生活在大的土壤孔隙中，抗干扰能力弱（Kaisermann et al., 2015）。

线虫：**Colonizer-persister (cp) scale:**

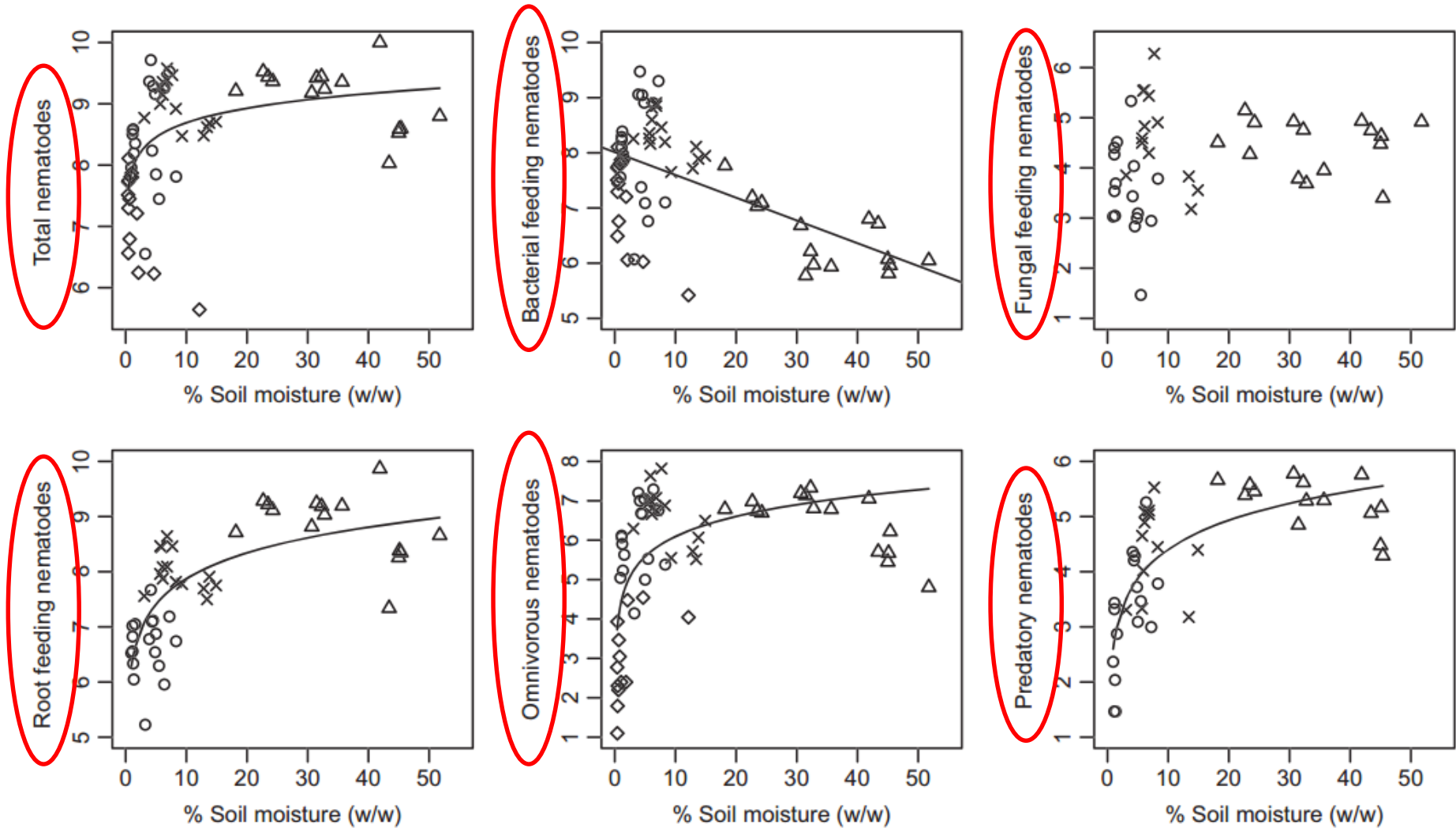
- **cp-1** （会产生休眠幼虫，抗干扰）
- **cp-2** 抗干扰
- **cp-3** （渗透角质层）不抗干扰
- **cp-4** （渗透角质层）不抗干扰
- **cp-5** （渗透角质层）不抗干扰

二 研究现状 1 极端降雨对植物群落影响

在极端降雨下，改变植物群落组成可以增加（**Khan et al., 2014; Gellesch et al., 2015**）或减少植物群落初级生产力（**Eskelinen and Harrison, 2015**）。

伴生豆科植物可以增加（**Khan et al., 2014; Sanaullah et al., 2012**）或者抑制目标作物生长（**Grant et al., 2014**）。

二 研究现状 2 水分对土壤线虫影响



Sylvain et al., 2014

二 研究现状 2 极端降雨对土壤线虫影响

淋溶对线虫迁移影响非常小（Chabrier et al., 2008）

破坏土壤团聚体（Landesman et al., 2011）

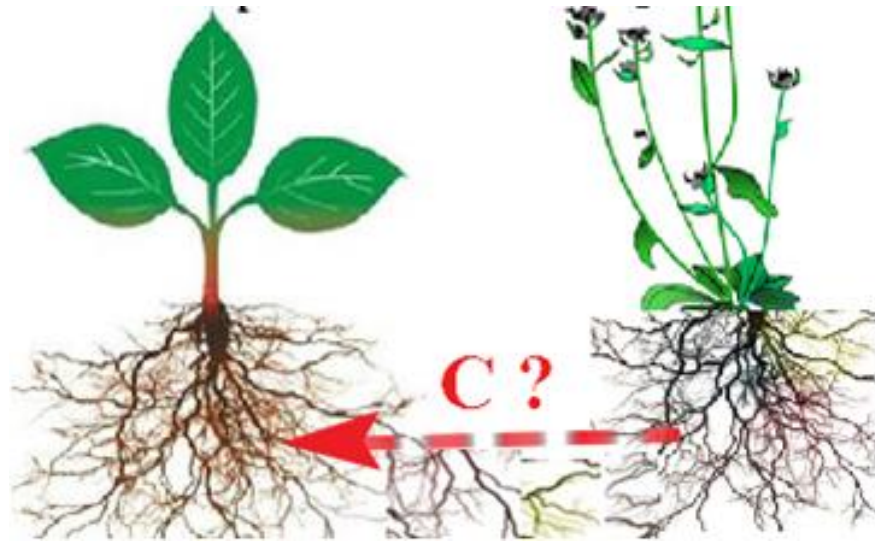
食物来源（Wagner et al., 2015）

极端降雨下，植物多样性的增加可以增加线虫数量
（Wagner et al., 2015）

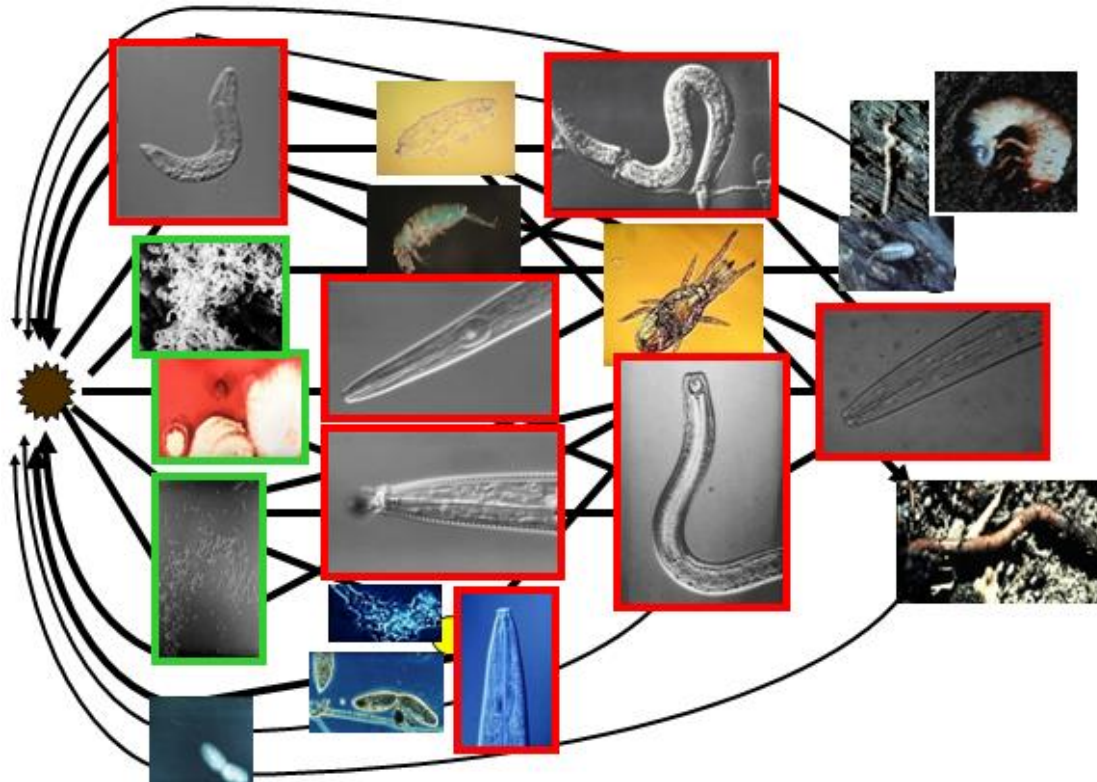
亚优势属植物显著影响线虫抗性（Shao et al., 2016）。

二 研究现状 3 研究不足

基于植物多样性（或物种构成）-初级生产力关系，很少的研究是关于植物物种构成通过影响土壤食物网群落结构和抗性提高目标作物生长（Wardle et al., 2000; Rinvest et al., 2013）。



二 研究现状 4 土壤食物网



土壤食物网：不同功能土壤生物类群之间形成的消费者-资源关系网络, 包括腐食食物链和捕食食物链。

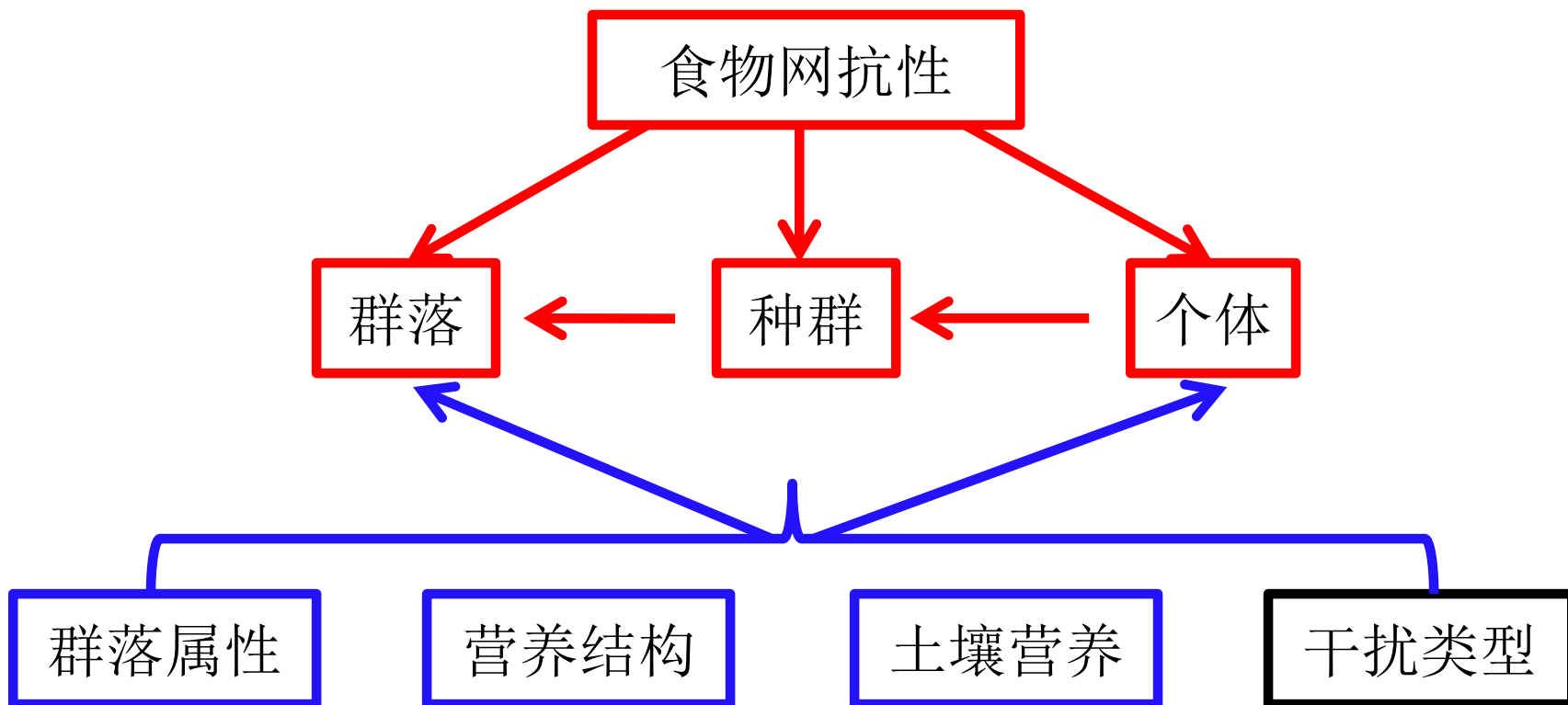
土壤微生物是土壤反应过程的基石（Van Der Heijden et al., 2008）。

固氮菌贡献大约植物获取总氮的20%（Van der Heijden et al., 2006）。

二 研究现状 4 土壤食物网

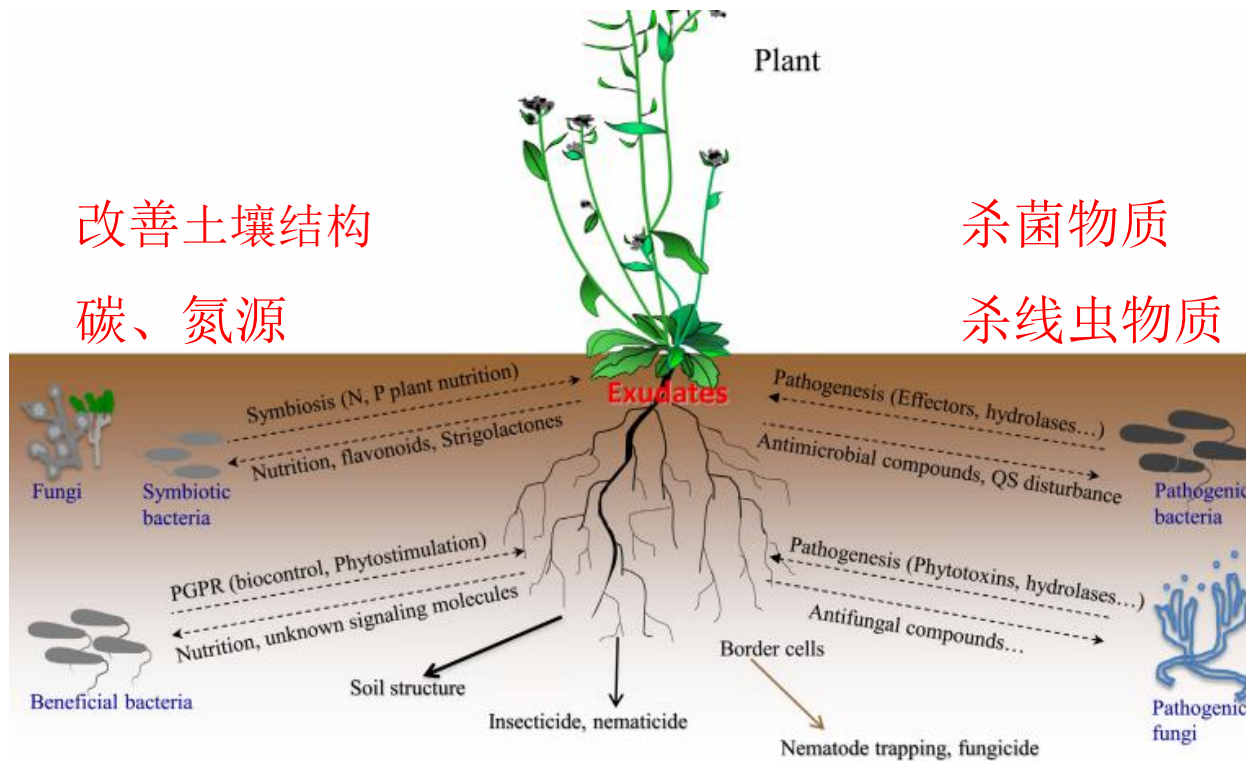
- 土壤线虫占据各个营养级，有机质分解、调节微生物活性 (Bardgett et al., 1999)
- 食微线虫通过捕食微生物释放氮，其贡献率可达13%，是土壤食物网中最重要的关键动物功能群 (Bloemers et al., 1997)。
- 土壤食物网用来研究营养利用效率 (Brussaard et al., 2007)，预测碳氮循环过程 (de Vries et al., 2013)，理解气候变化下食物网的抗性和恢复力 (de Vries et al., 2014)。

二 研究现状 5 影响食物网抗性因素



植物对土壤食物网抗性影响？

二 研究现状 6 植物与土壤食物网关系



植物通过调节土壤属性（Paradelo and Barral 2009）、根系分泌物（Haichar et al., 2014）、养分竞争和促进（Bakker et al., 2012）改变土壤生物群落。

二 研究现状 6 植物与土壤食物网关系

不同植物组成对土壤食物网的结构和功能有不同作用 (Mueller et al., 2016), 植物物种构成 (尤其是存在豆科植物) 可以潜在增加土壤微生物抗性 (Sanauillah et al., 2012) 和线虫抗性 (Shao et al., 2016)。

二 研究现状 7 研究不足

有限的文献研究地下生物群落对异常降雨如何响应 (Krab et al., 2013; Wagner et al., 2015)。

植物丰富度不能缓和极端降雨对土壤微食物网(微生物和线虫)的影响 (Wagner et al., 2015)。

三 研究问题

- 1、极端降雨下，植物群落构成对土壤微食物网群落结构的影响？
- 2、不同植物群落构成（尤其是豆科植物存在）能否缓和极端降雨对土壤微食物网抗性的影响？
- 3、提高土壤食物网抗性能否增加目标作物营养(N)吸收？

三 研究问题—社会需求



花椒根系发达，固土能力强，能耐干旱贫瘠，但不耐涝，积水易死（王景燕等 2016）

三 研究问题—社会需求

以不同复合种植花椒林为研究对象，模拟极端降雨对土壤微食物网（微生物和线虫）群落结构和抗性的影响。

在极端降雨下，花椒农林复合系统伴生物种（尤其是豆科植物存在）能否增加微食物网抗性，进而增强目标植物叶片养分吸收？

四 实验方法-设计

实验地点： 茂县叠溪 实验处理时间2013开始4月

花椒单作 (Z) (花椒林下去除所有植被)

花椒-辣椒间作(Z-C)

花椒-苜蓿间作(Z-M)

花椒-大豆间作(Z-G) (间作作物密度相同)

样方大小 $2.6\text{m} \times 2.6\text{m}$ 间隔1米

共40个样方 采用完全随机设计

四 实验方法-设计

在每种模式中进行极端降水处理，5个重复，

采用完全随机设计

2015年8月开始极端降雨处理

异常降水定义为历年8月份（基于1983-2014年，茂县试验站）最高的降雨量，9.5mm/天。

对照采用历年8月份（基于1983-2014年，茂县试验站）8月份平均降雨量，3mm/天。

四 实验方法-样品采集

处理期：2015年8月1-30号

每天早上8-10点和下午5-7点用洒水壶模拟降水。样方用PVC板插入土壤50cm，避免水径流和样方间根的交互作用

8月31处理结束后进行取样，采用五点法取样，0-10cm土层取样。

同时进行花椒叶片和间作作物整个植株采集。



四 实验方法- 测定方法

(1) 土壤微生物网群落结构测定

采用磷脂脂肪酸 (PLFA) 法 (Bossio and Scow, 1998)

总微生物量: 总提取的 PLFAs

细菌生物量: i15:0, a15:0, 15:0, i16:0, 16:1 ω 7, i17:0, a17:0, 17:0,
cy17:0, 18:1 ω 7c

真菌生物量: 18:2 ω 6,9c (Frostegård & Bååth 1996)

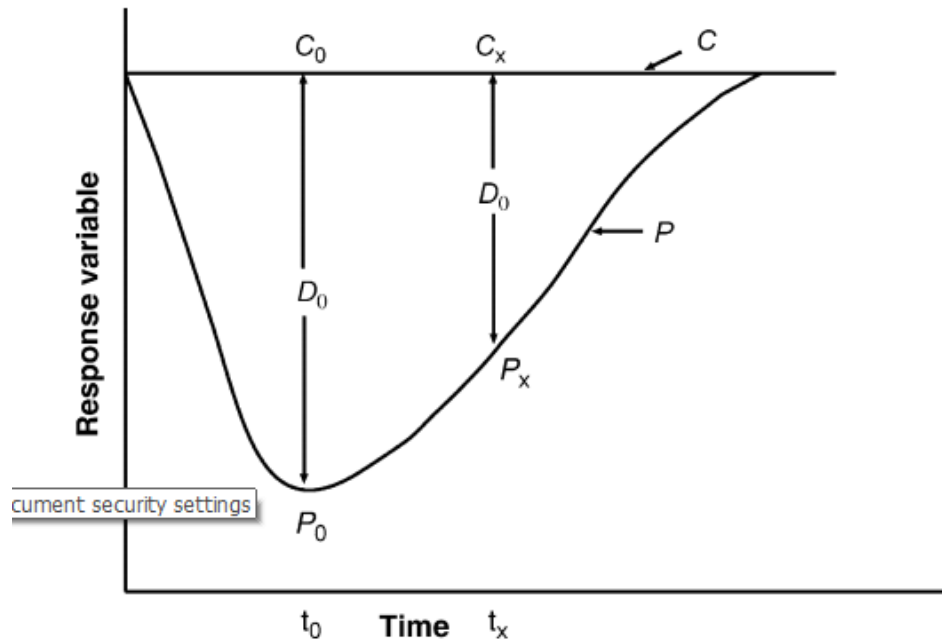
(2) 线虫分析: 浅盘法 (Townshend, 1963)

植食、食细菌、食真菌、杂食和捕食线虫 (Yeates 1993)

四 实验方法-测定方法

(3) 土壤食物网抗性

$$\text{Resistance index} = 1 - 2|D_0| / (C_0 + |D_0|) \quad (-1 \text{ to } 1)$$



Orwin & Wardle 2004

四 实验方法-测定方法

(4) 净氮矿化率测定：厌氧培养法

(5) 植物叶片无机氮含量：比色法

(6) 土壤化学性质测定

pH值分析：0.01 mol · L⁻¹的CaCl₂溶液浸提-pH计法；

土壤有机碳分析：重铬酸钾氧化外加热法；

铵态氮和硝态氮分析：2 mol · L⁻¹的KCl浸提连续流动分析仪测定法；

温度测定：原位温度测定仪

五 实验结果-种植模式和极端降雨对土壤的影响

表1 种植模式和极端降雨对土壤的影响

种植模式 土壤属性	种植模式	极端降雨	种植模式 * 极端降雨
土壤含水量 (%)	ns	***	ns
土壤温度 (°C)	ns	ns	ns
pH	ns	ns	ns
铵态氮 (mg/kg)	*	***	ns
硝态氮 (mg/kg)	***	***	*
DOC (mg/kg)	***	***	ns
DON (mg/kg)	***	ns	ns

种植模式影响土壤铵态氮、硝态氮、DOC和DON; 极端降雨影响土壤含水量、铵态氮、硝态氮和DOC; 种植模式和极端降雨交互影响硝态氮

五 实验结果-豆科作物提高土壤养分

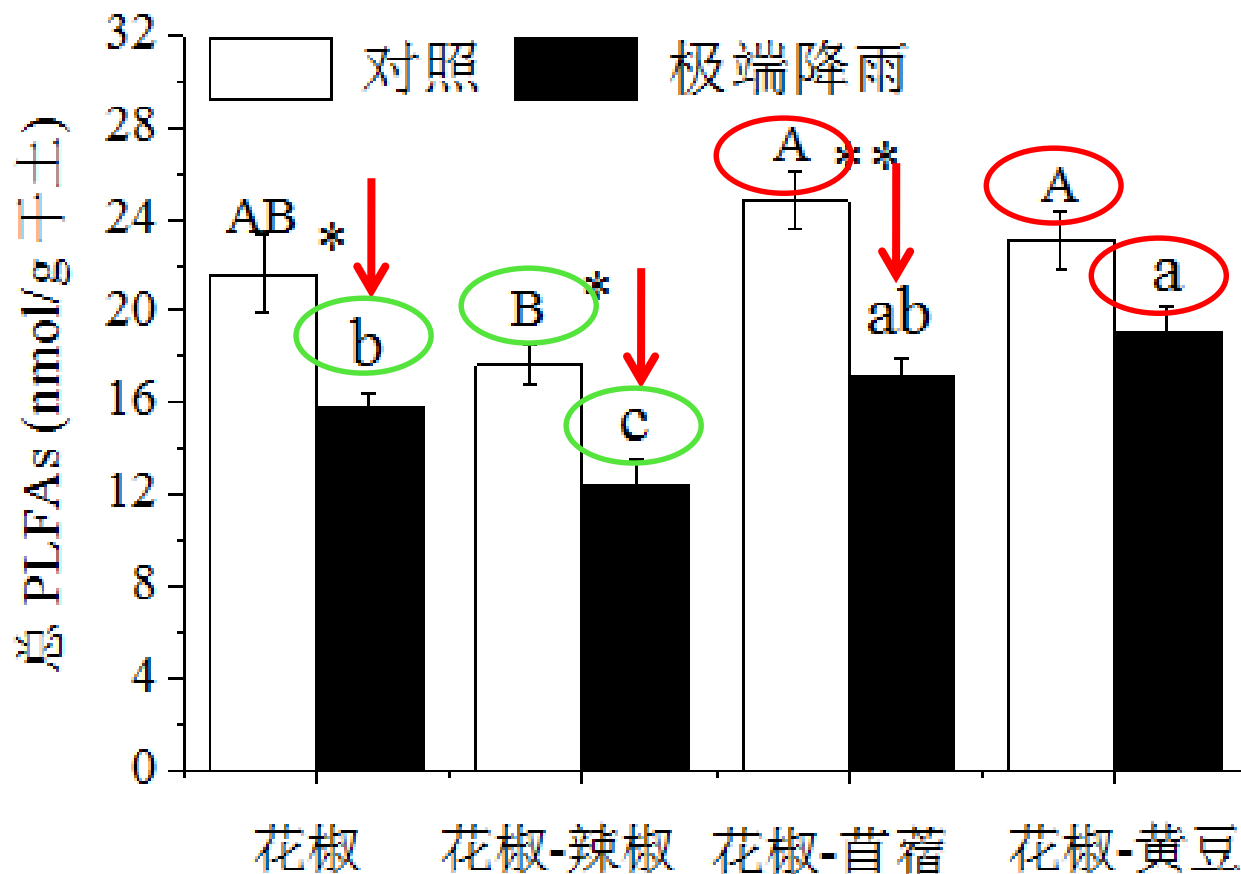
表2 在极端降雨下种植模式对土壤属性影响

种植模式	花椒		花椒-辣椒		花椒-苜蓿		花椒-黄豆	
	对照	极端降雨	对照	极端降雨	对照	极端降雨	对照	极端降雨
土壤含水量 (%)	18.6	30.3	18.8	30.7	19.4	31.8	19.1	30.5
土壤温度 (°C)	15.6	15.5	15.4	15.4	15.9	15.8	16.1	15.7
pH	7.6	7.6	7.7	7.6	7.6	7.6	7.6	7.6
铵态氮 (mg/kg)	4.2B	6.0b	3.7B	7.7ab	6.1A	9.2a	4.3B	9.0a
硝态氮 (mg/kg)	17.8B	9.6	19.9B	8.7	24.9A	10.5	25.2A	11.3
DOC (mg/kg)	212.9B	189.8b	207.1B	193.2b	237.9A	223.3a	229.4A	216.4a
DON (mg/kg)	55.3B	52.8b	56.1B	53.6b	64.9A	62.0a	62.8A	61.4a

在对照情况下，种植豆科的花椒地比花椒单作、花椒-辣椒地的铵态氮、硝态氮、可溶性碳、氮高。

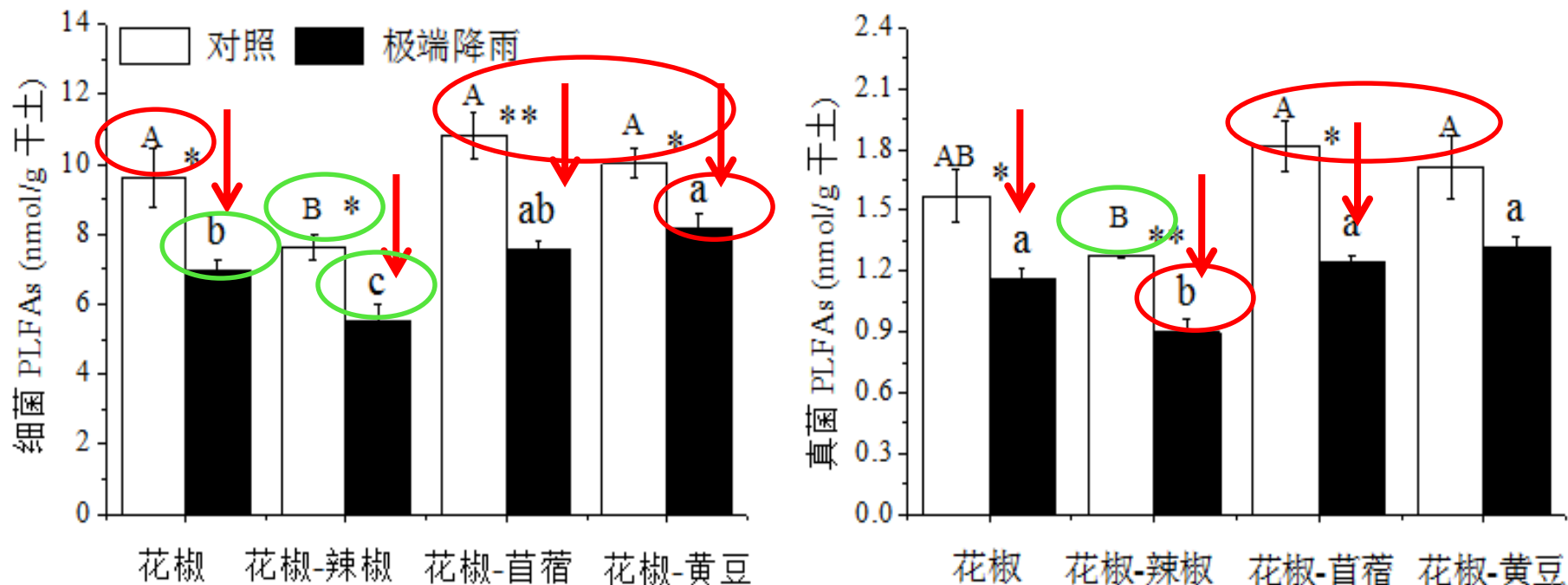
极端降雨下，种植豆科的花椒地比花椒单作、花椒-辣椒地的可溶性碳、氮高。

五 实验结果-极端降雨降低微生物生物量



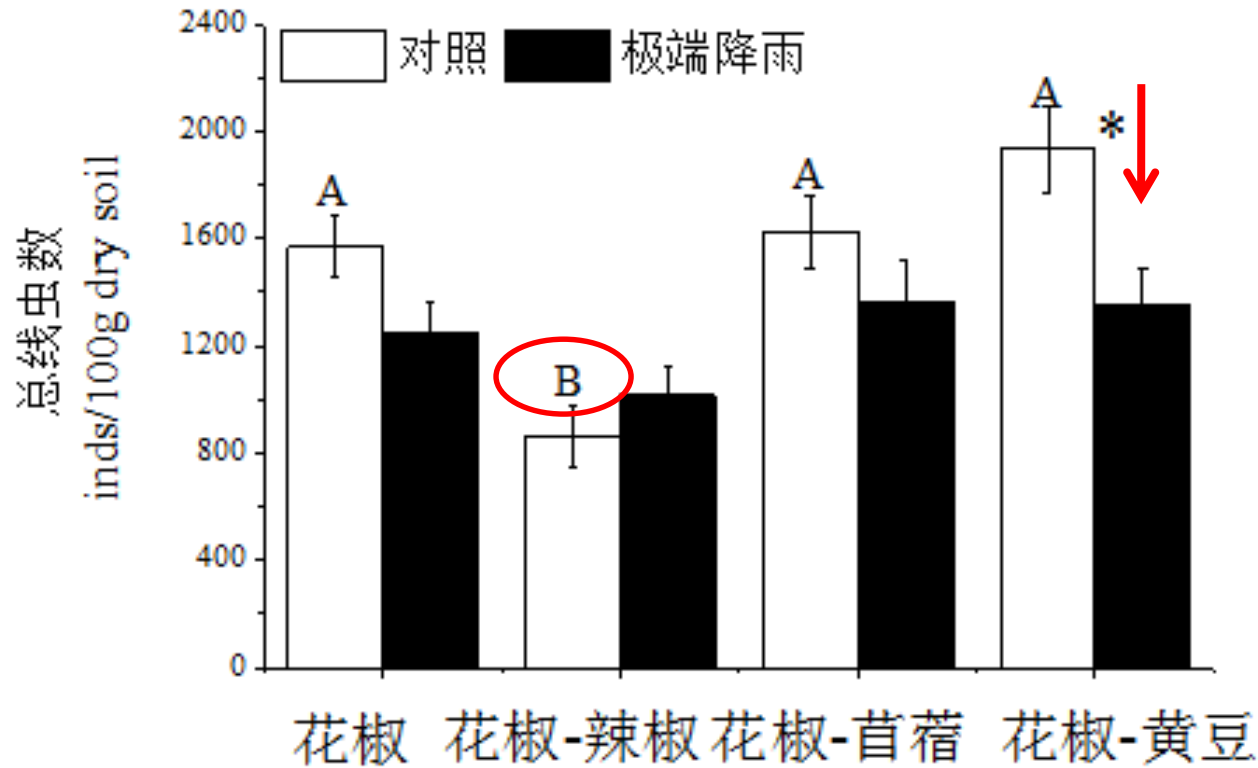
与对照比，极端降雨显著降低花椒、花椒-辣椒和花椒苜蓿种植模式中总微生物量；对照下，花椒-苜蓿、花椒-黄豆模式大于花椒辣椒模式；极端降雨下，花椒-黄豆种植模式总微生物量显著高于花椒-辣椒、花椒单作。

五 实验结果-极端降雨降低细菌、真菌生物量



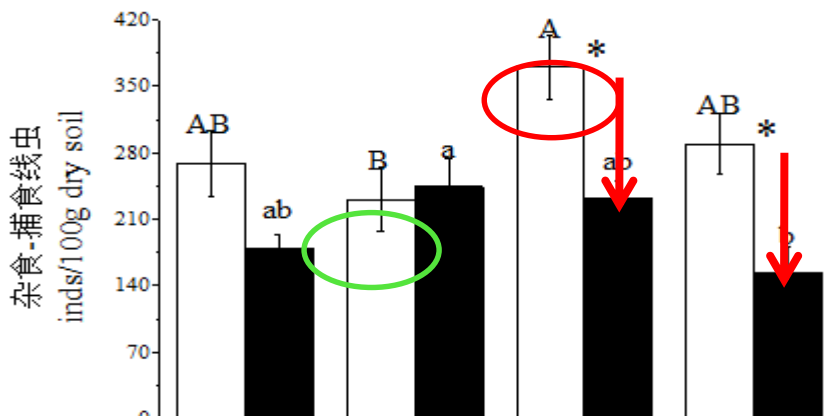
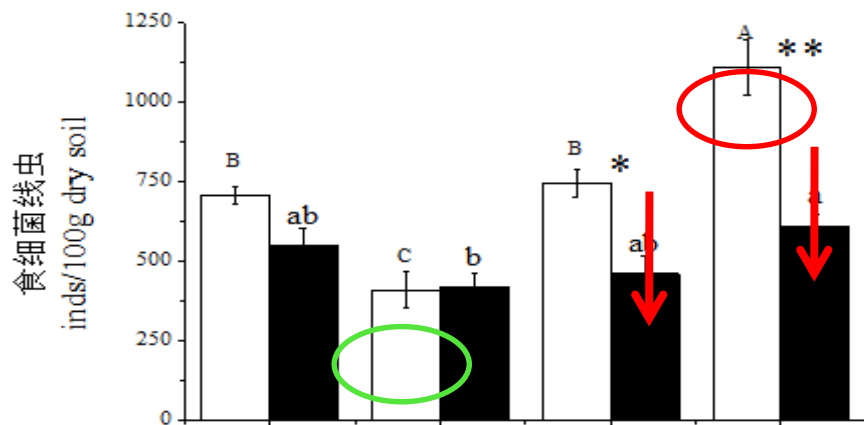
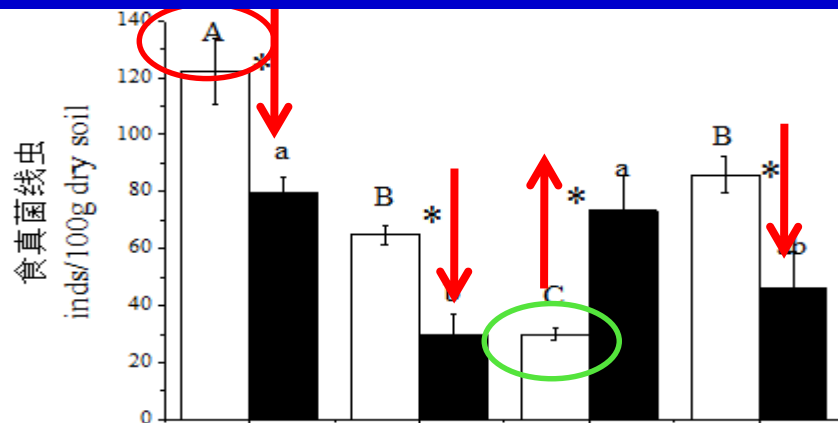
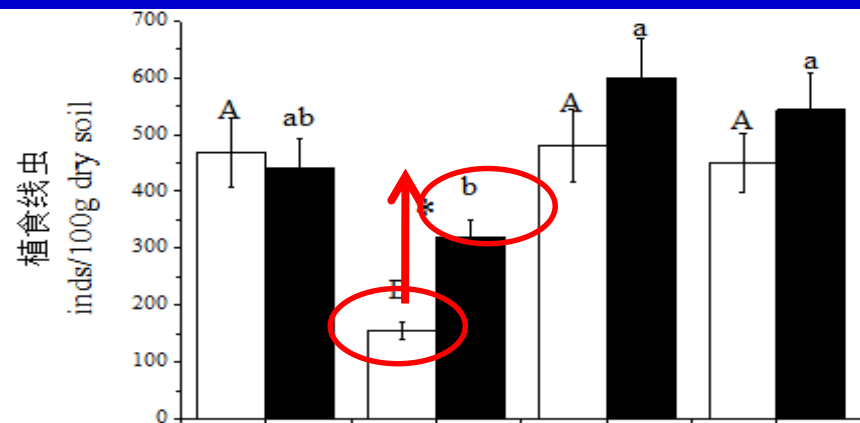
- (1) 与对照比，极端降雨显著降低了四种种植模式中细菌生物量； (2) 对照下，花椒单作、花椒-苜蓿、花椒-黄豆的细菌生物量高于花椒-辣椒； (3) 降雨下，花椒黄豆细菌生物量高于花椒-辣椒、花椒单作； (4) 极端降雨显著降低了前三种种植模式中真菌生物量， (5) 在对照和极端降雨下，花椒-辣椒中的真菌生物量最低。

五 实验结果-极端降雨降低线虫多度



(1) 花椒黄豆间作中，极端降雨显著降低总线虫多度； (2) 对照下，花椒-辣椒种植模式中总线虫数量最低。

五 实验结果-极端降雨改变线虫功能群数量组成

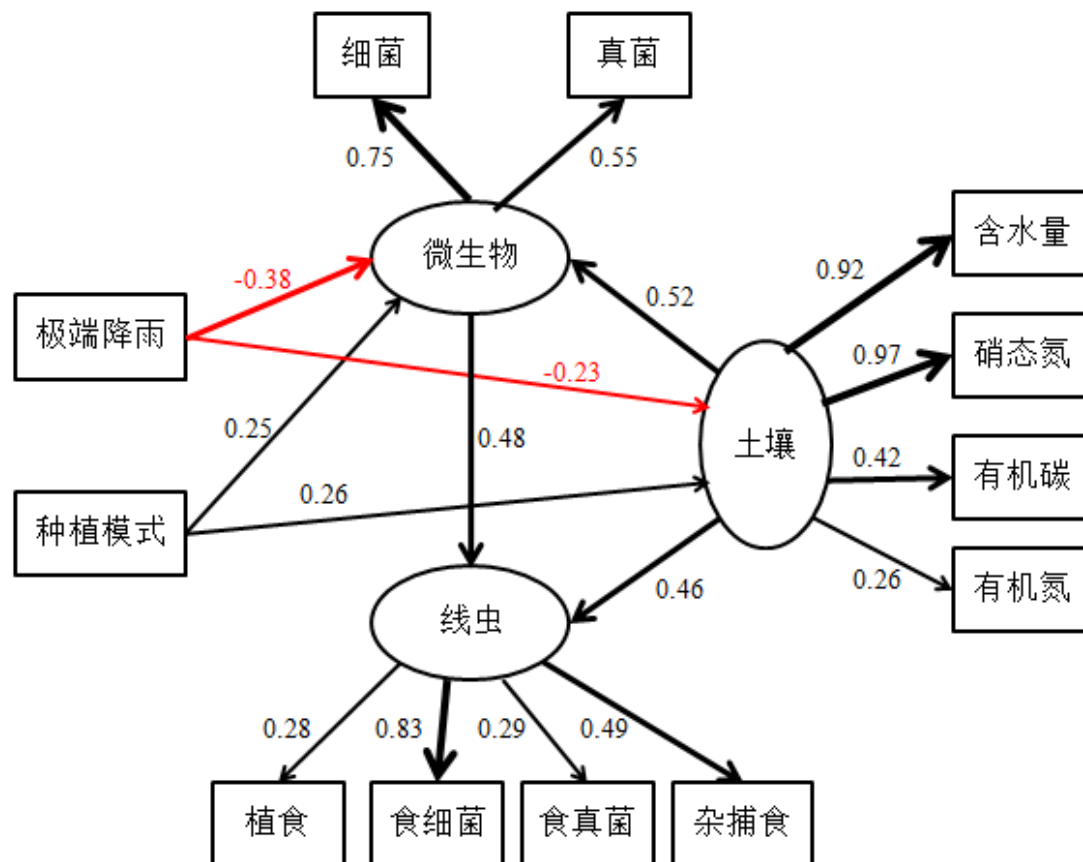


花椒 花椒-辣椒 花椒-苜蓿 花椒-黄豆

花椒 花椒-辣椒 花椒-苜蓿 花椒-黄豆

- (1) 极端降雨提高花椒-辣椒植食线虫；
- (2) 对照和极端降雨下，花椒-辣椒植食线虫最低；
- (3) 极端降雨显著降低花椒-黄豆、苜蓿的食细菌线虫；
- (4) 对照下，花椒-黄豆食细菌线虫最高，花椒辣椒最低；
- (5) 极端降雨提高花椒-苜蓿食真菌线虫数量，降低其他模式的食真菌线虫数量；
- (6) 对照下，花椒单作的食真菌线虫最高、辣椒的最低；
- (7) 极端降雨显著降低花椒-黄豆、苜蓿的捕杂食线虫的数量；
- (8) 对照下，花椒-苜蓿的捕杂食最高，辣椒的最低。

结构方程模型结果



$\chi^2 = 20.827$, $df = 21$, $p = 0.392$, $CFI = 0.967$, $GFI = 0.928$, $RMSEA = 0.000$

(1) 极端降雨直接和通过土壤间接负面影响土壤微生物群落；间接通过土壤负面影响土壤线虫群落。

(2) 种植模式直接和通过土壤间接正面影响土壤微生物和线虫群落。

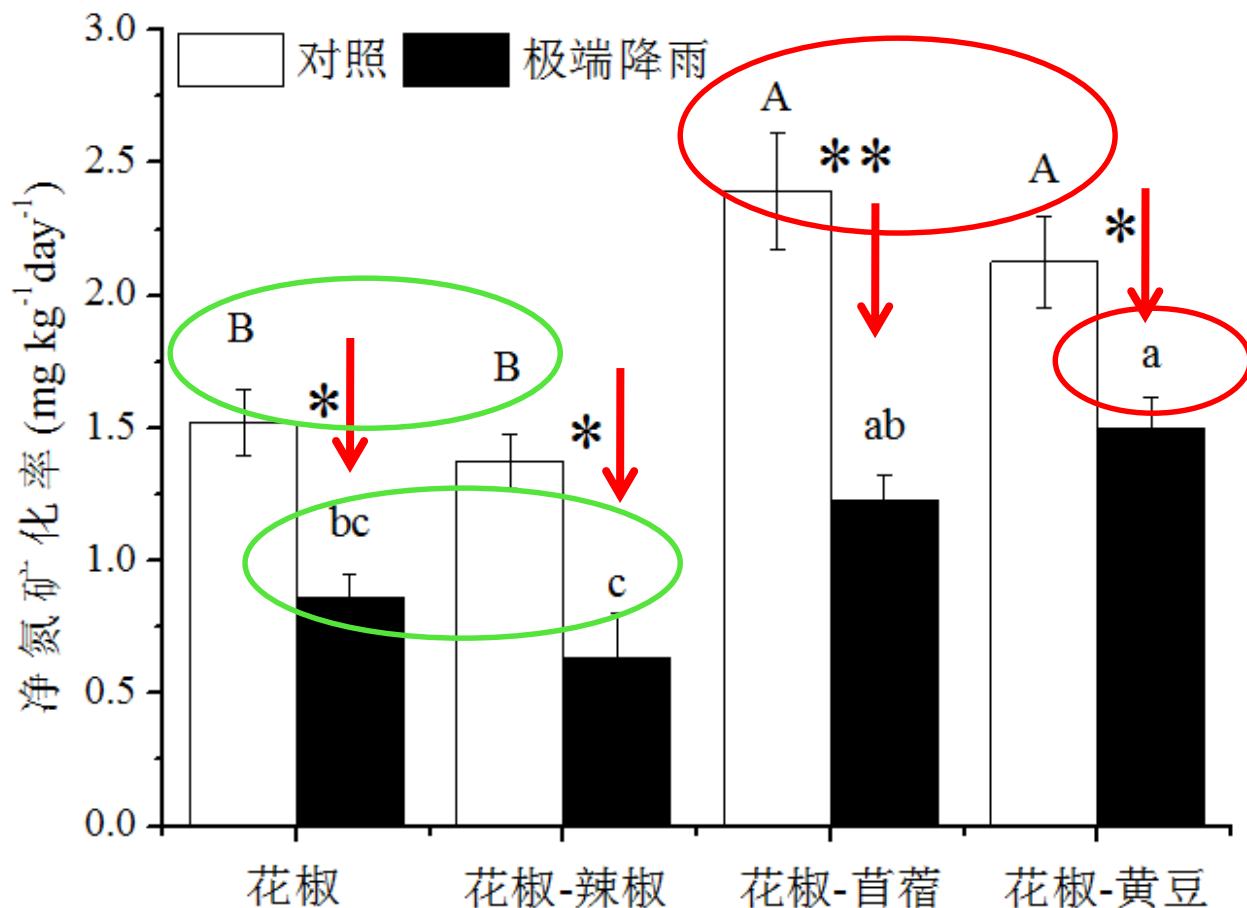
五 实验结果-花椒黄豆微生物抗性增加、线虫抗性降低

种植模式	花椒	花椒-辣椒	花椒-苜蓿	花椒-黄豆	
抗性指数					
总微生物	0.58 ± 0.04b	0.54 ± 0.05b	0.53 ± 0.02b	0.71 ± 0.003a	↑ ☆
细菌	0.58 ± 0.04ab	0.57 ± 0.04ab	0.55 ± 0.04b	0.69 ± 0.01a	↑
真菌	0.6 ± 0.04	0.55 ± 0.06	0.52 ± 0.03	0.64 ± 0.05	↑
总线虫	0.67 ± 0.06	0.69 ± 0.04	0.75 ± 0.13	0.54 ± 0.03	↓
植食线虫	0.91 ± 0.06a	-0.04 ± 0.02b	0.61 ± 0.16a	0.65 ± 0.16a	
食细菌线虫	0.63 ± 0.07b	0.87 ± 0.01a	0.46 ± 0.07c	0.38 ± 0.02c	↓ ☆
食真菌线虫	0.48 ± 0.02a	0.3 ± 0.08a	-0.15 ± 0.12b	0.39 ± 0.13a	
杂捕食线虫	0.53 ± 0.09b	0.87 ± 0.10a	0.46 ± 0.04b	0.38 ± 0.08b	↓

(1) 极端降雨下，花椒黄豆间作总微生物抗性最高，显著高于其他几种种植模式；

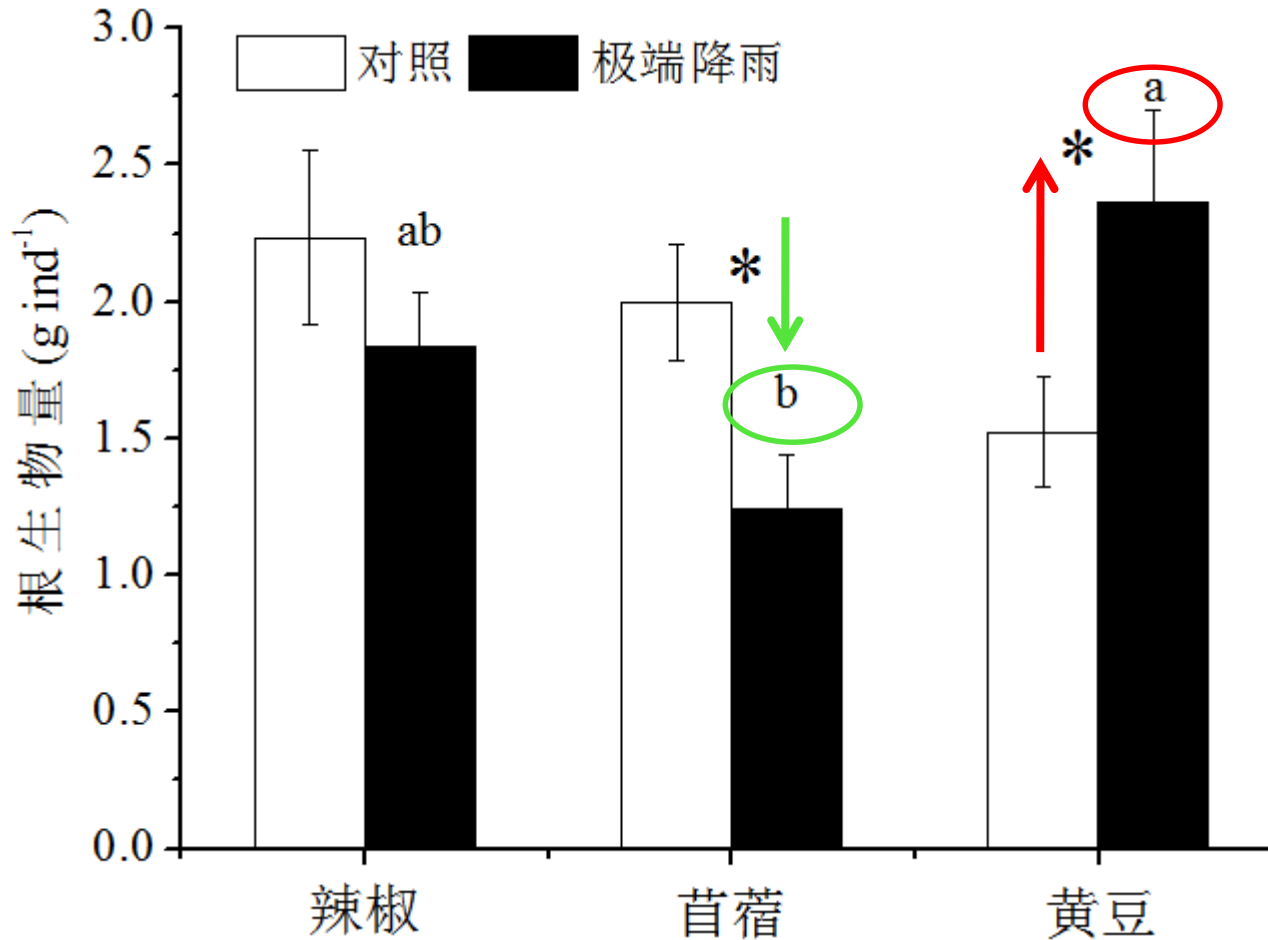
(2) 花椒黄豆间作食细菌线虫抗性最低，显著低于其它几种种植模式。

五 实验结果-极端降雨降低土壤净氮矿化率



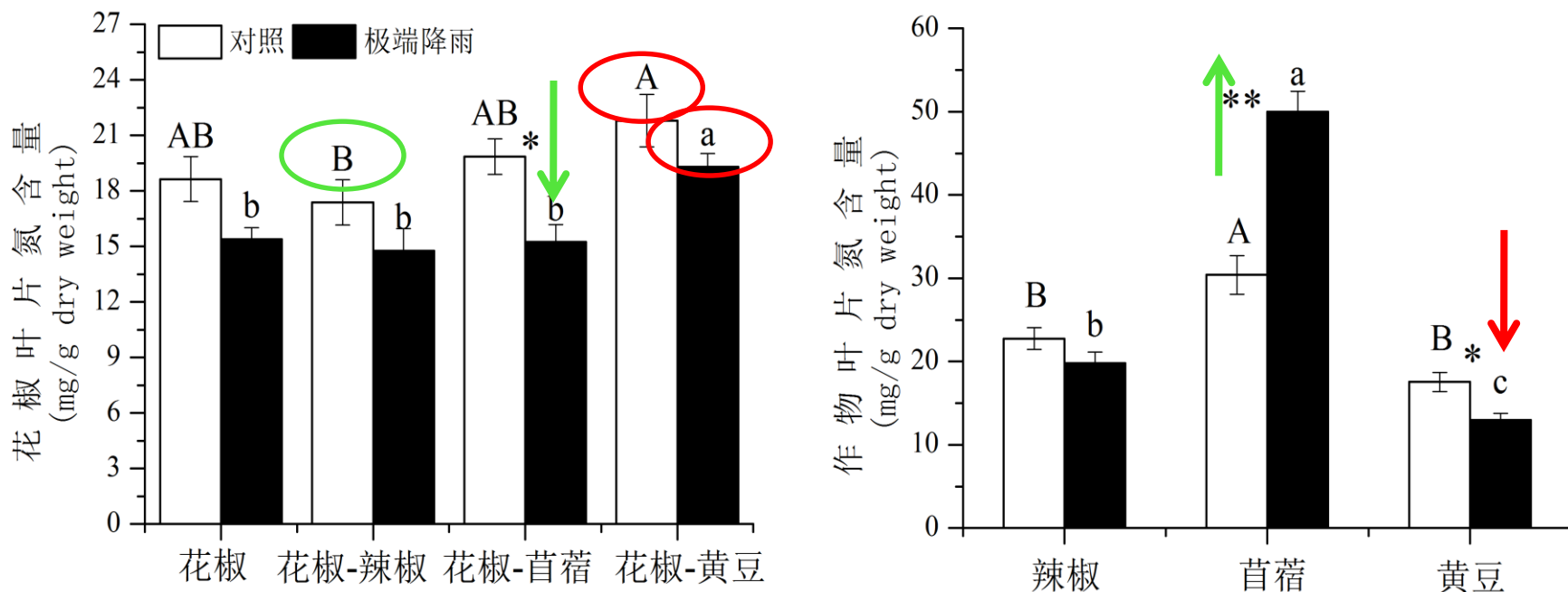
(1) 极端降雨显著降低几种种植模式中土壤净氮矿化率； (2) 对照下，花椒-苜蓿、花椒-黄豆的矿化率高于其他模式； (3) 极端降雨，花椒黄豆间作净氮矿化率最高。

五 实验结果-降雨降低苜蓿根、提高黄豆根生物量



- (1) 极端降雨显著降低了苜蓿根生物量，但显著增加了黄豆根生物量；
- (2) 极端降雨下，间作作物中黄豆根生物量最高，苜蓿根生物量最低。

五 实验结果-极端降雨改变花椒和作物叶片N含量



(1) 对照下，花椒黄豆模式中花椒叶片氮含量最高；(2) 在极端降雨下，花椒黄豆间作中花椒叶片氮含量显著高于其它几种种植模式；极端降雨显著降低花椒苜蓿间作中花椒叶片氮含量，主要因为苜蓿和花椒种间竞争；而黄豆采用忍耐策略，降低叶片氮含量，增加根生物量。

五 实验结果-花椒叶片氮含量与微生物、线虫抗性

抗性指数	总微生物	细菌	真菌
花椒叶片氮量	0.786**	0.706*	0.404
作物叶片氮量	-0.625	-0.565	-0.477

抗性指数	总线虫	植食线虫	食细菌线虫	食真菌线虫	杂捕食线虫
花椒叶片氮量	-0.823**	0.329	-0.632*	0.245	-0.714**
作物叶片氮量	0.505	0.24	-0.211	-0.779*	-0.167

花椒叶片氮与微生物抗性呈正相关，与线虫抗性呈负相关，这说明：极端降雨下，维持低营养级抗性（微生物抗性）比高营养级抗性（线虫抗性）更重要。

六 研究结论

- (1) 种植模式通过土壤积极的影响线虫群落结构，极端降雨通过土壤间接的消极的影响土壤线虫群落。
- (2) 极端降雨下，间作物种通过增加根生物量增强了土壤微生物抗性，提高了土壤养分和目标作物营养吸收。
- (3) 极端降雨下，维持低营养级抗性(微生物抗性)比高营养级抗性(线虫抗性)更重要。

研究意义

在极端降雨下

对植物群落构成如何通过影响土壤食物网群落结构和食物网抗性提高目标作物营养吸收提供了理论解释。

为农业实际生产提供了理论支持。



谢谢!