



中國農業大學
China Agricultural University



苜蓿害虫防治研究进展

班丽萍

中国农业大学

Email: liping_ban@163.com



报告内容

苜蓿主要害虫种类及发生规律

苜蓿虫害调查监测方法

苜蓿虫害防治技术



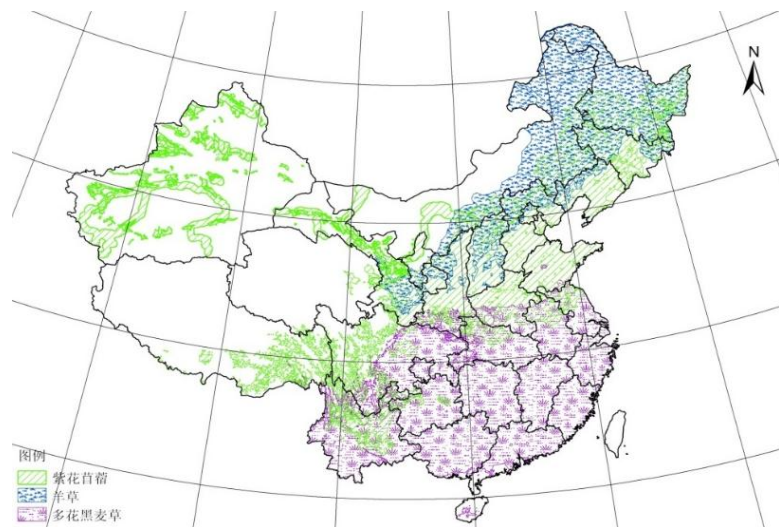
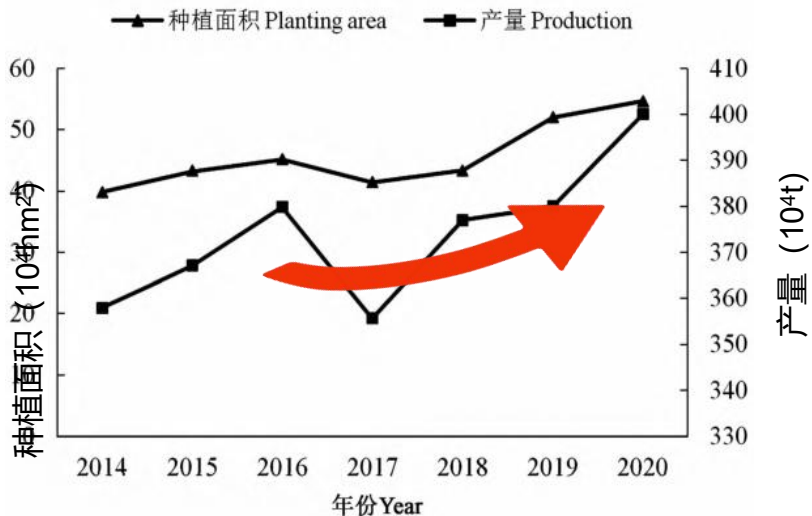


我国苜蓿概况

➤ **紫花苜蓿** *Medicago sativa* L.: 优质的豆科牧草植物，在我国已有3000多年的种植历史

➤ **苜蓿种植面积**: 达到54.67万hm²，从2018-2020年，增加了26.2% (全国畜牧总站, 2020; 王瑞港, 2021)

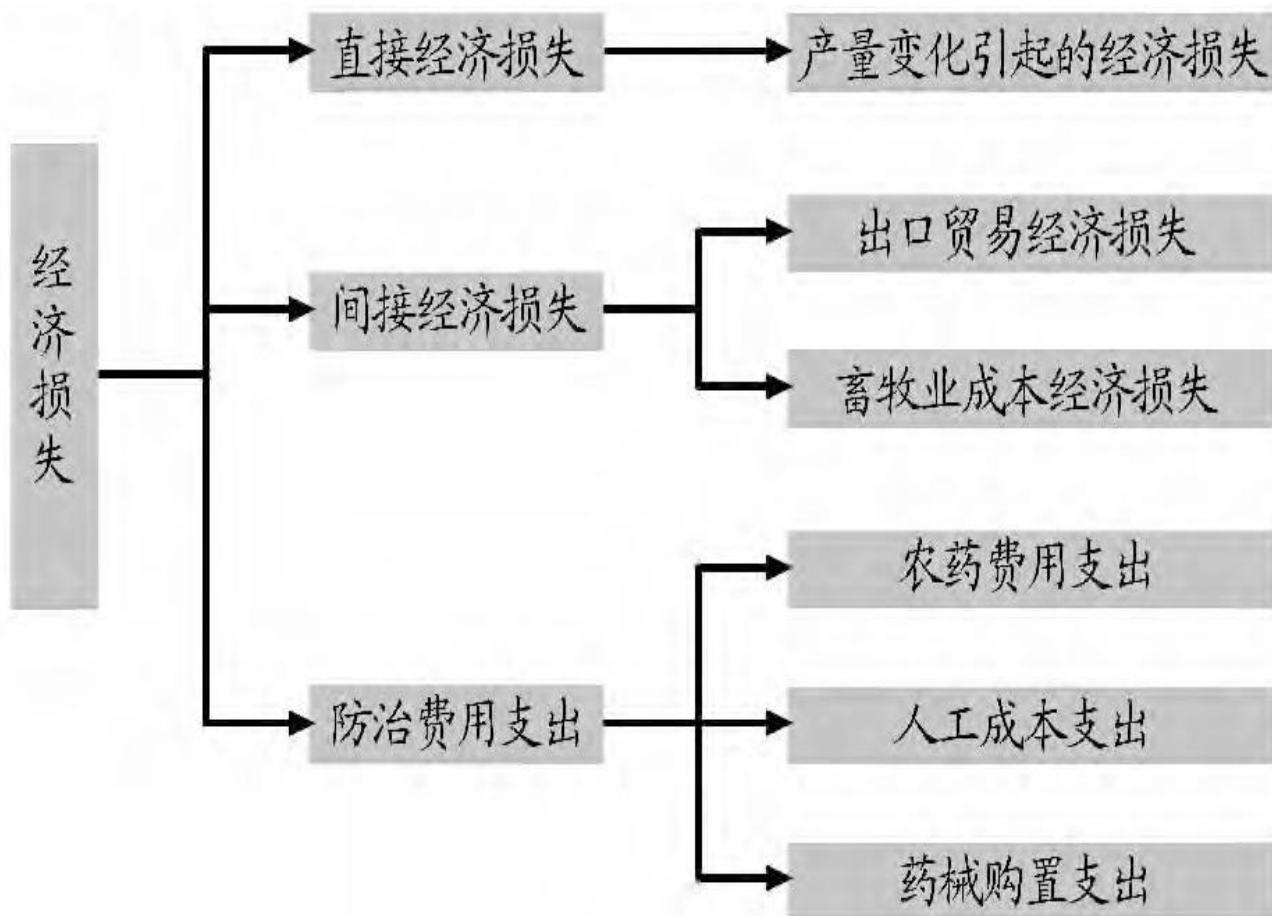
➤ **苜蓿产业带**: 新疆东部、甘肃、宁夏，涵盖东北、华北、西北等地





苜蓿虫害造成的经济损失

每年导致苜蓿**减产约20%**，**经济损失91.44亿元**





苜蓿虫害概况

导致苜蓿每年**减产约20%**，**经济损失91.44亿元** (McNeill, 2021)

蚜虫类



蓟马类



草地螟



- 发生率：90%以上；
- 减产：30-40%
- 损失：1.51-11.27亿美元

- 发生率：70-100%
- 造成苜蓿减产，毁产

- 发生率：60%
- 苜蓿干草损失：3.6亿kg

苜蓿主要害虫种类及发生规律

苜蓿虫害发生情况

➤ 害虫种类：70种，隶属8目33科

为害方式	害虫种类	发生范围	发生类型	危害程度
吮吸类害虫	蚜虫类	全国	常发性	+++
	蓟马类	全国	常发性	+++
	盲蝽类	全国	常发性	++
食叶类害虫	苜蓿叶象甲	新疆荒漠绿洲区、河西走廊区	常发性	+++
	草地螟	东北区、华北农牧交错区及河西走廊区、河套灌溉区、黄土高原区	间歇突发性	+++
	夜蛾类、芜菁类	全国	偶发性	+
种实害虫	苜蓿籽蜂	新疆、甘肃、内蒙古、宁夏、陕西、山西	常发性	++
	苜蓿籽象甲	新疆（北疆）和甘肃	偶发性	++
地下害虫	金龟甲类、拟步甲类	黄土高原区、河西走廊区、华北农牧交错区	偶发性	+

➤ 发生类型：发生量，发生频率，危害程度，经济损失

➤ 危害程度：产量损失：5%以下（+ 轻度）；5%~20%（++ 中度）；危害，20%以上（+++ 重度）



吮吸类害虫

➤ 种类

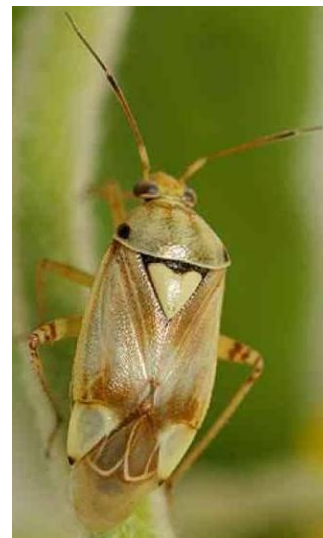
蚜虫类



蓟马类



盲蝽类



➤ 为害:





苜蓿蚜虫-种类

苜蓿斑蚜



豌豆蚜



豆蚜



苜蓿蚜





苜蓿斑蚜，三叶草彩斑蚜

(*Therioaphis trifolii* Monell)





豌豆蚜 (*Acyrtosiphon pisum* Harris)





其它蚜虫



苜蓿蚜

(*Aphis medicaginis* Koch)

豆蚜

(*Acyrtosiphom kondoi*)

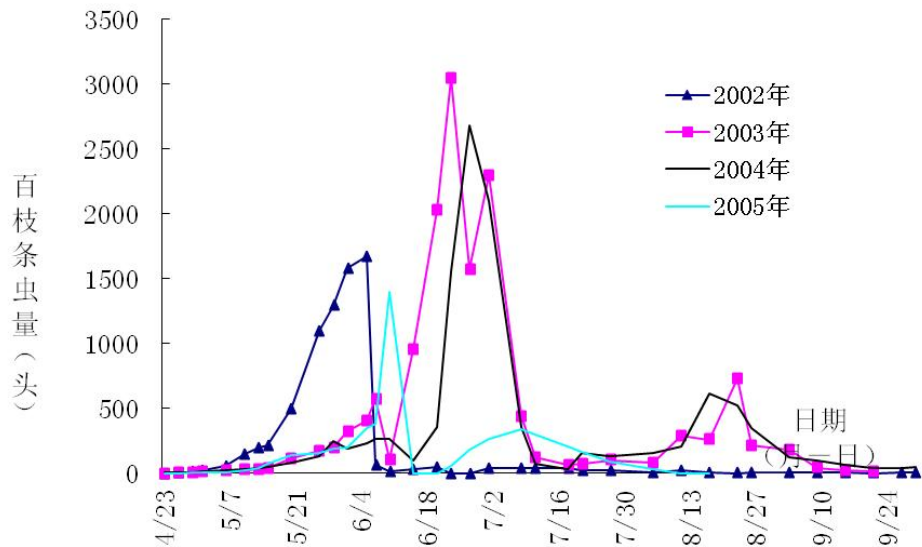




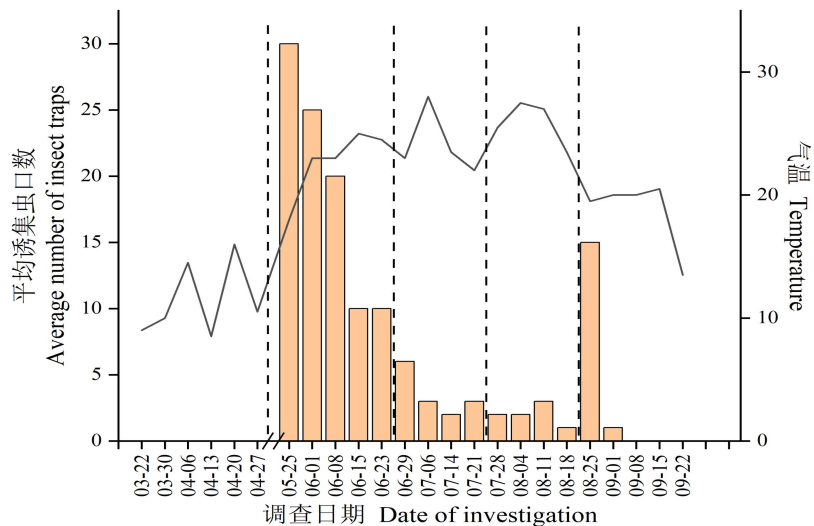
蚜虫田间数量消长变化



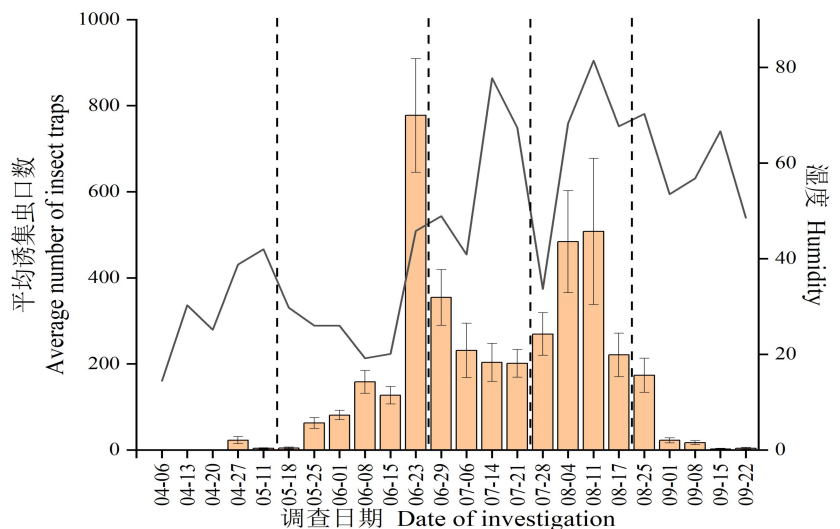
苜蓿斑蚜田间数量消长变化



吸虫塔 (2023, 宁夏) █ 苜蓿斑翅蚜 — 气温



黄板 (2023, 宁夏) █ 苜蓿斑翅蚜 — 湿度





苜蓿蓟马-种类

牛角花齿蓟马



烟蓟马



普通大蓟马



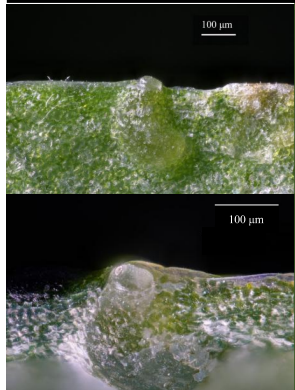
花蓟马



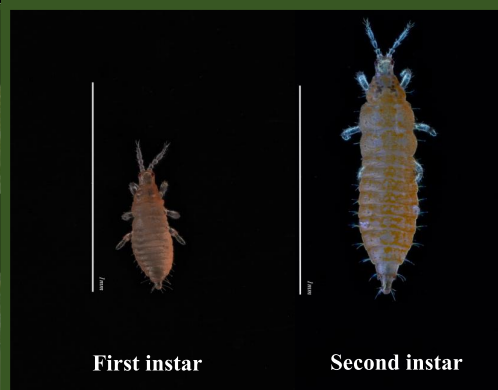


牛角花齿蓟马

Egg



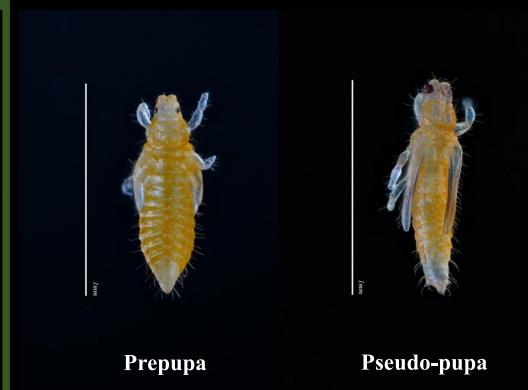
Nymph (Feeding)



First instar

Second instar

(Non-feeding)



Prepupa

Pseudo-pupa



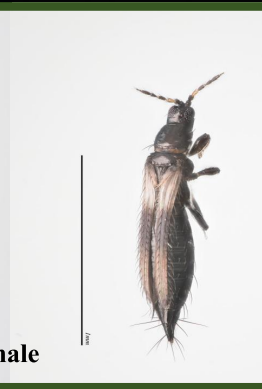
Male



Male



Female





蓟马-为害状



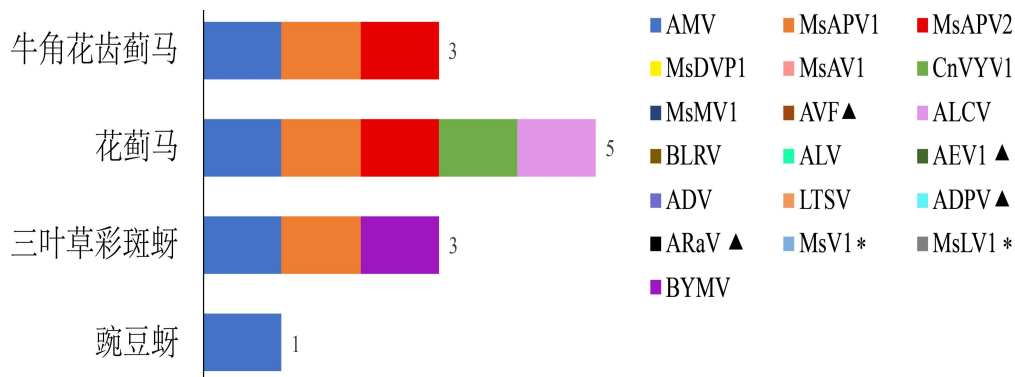


蓟马-传播苜蓿病毒病

➤ 苜蓿病毒病病症及危害



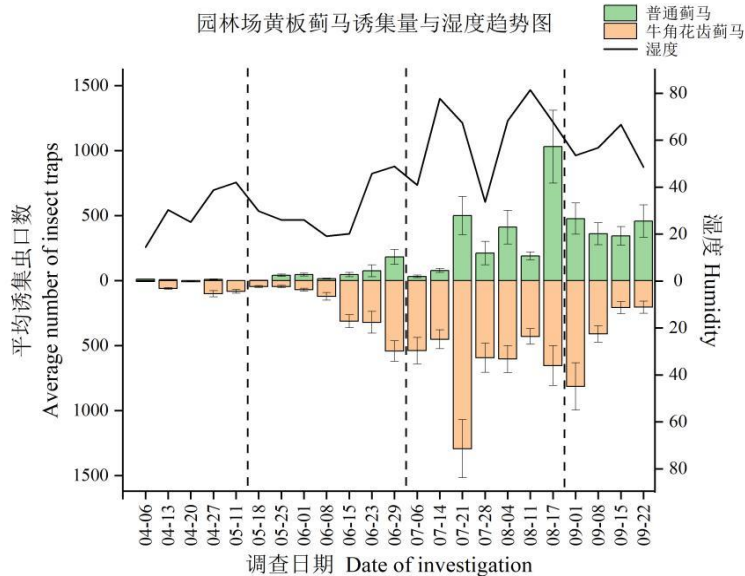
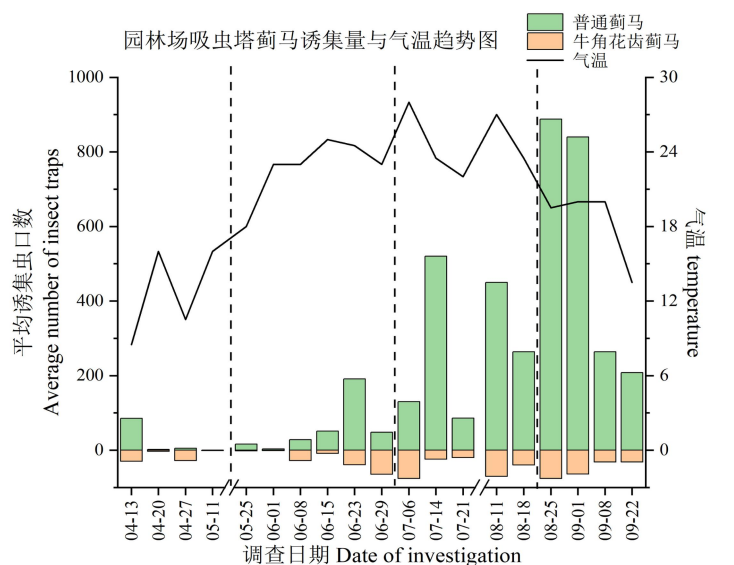
➤ 蓟马携带并传播苜蓿病毒病



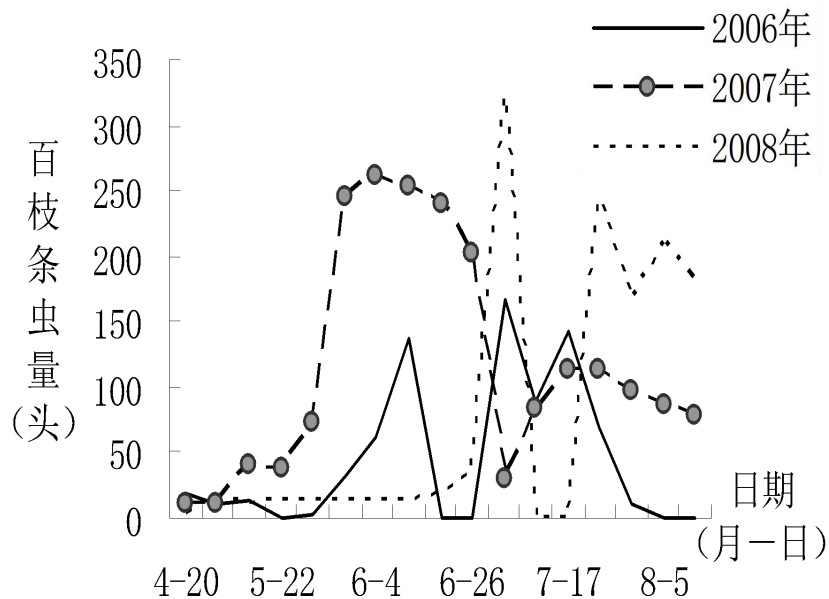
- 一龄和二龄蓟马可以在**15min**中获取病毒并可以有效传播病毒
- 二龄蓟马传播AMV后，叶片AMV含量增加了 **1.79×10^8** 倍



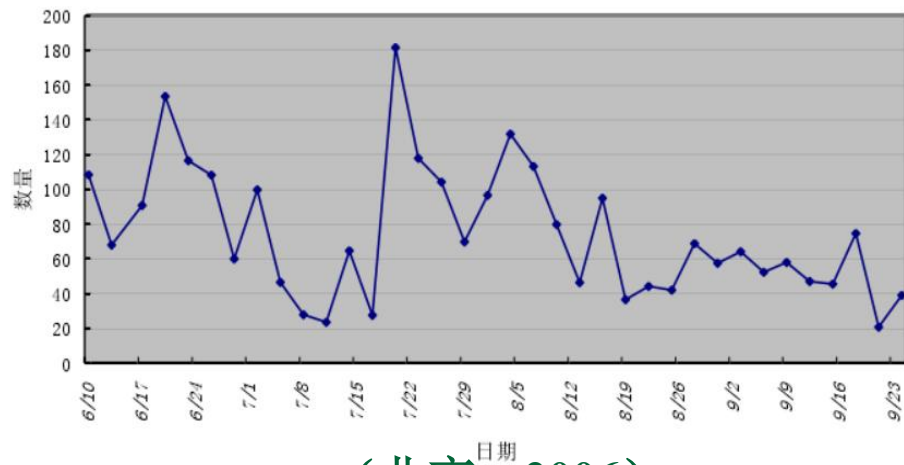
蓟马-田间种群消长变化



苜蓿蓟马田间数量消长变化



(宁夏)



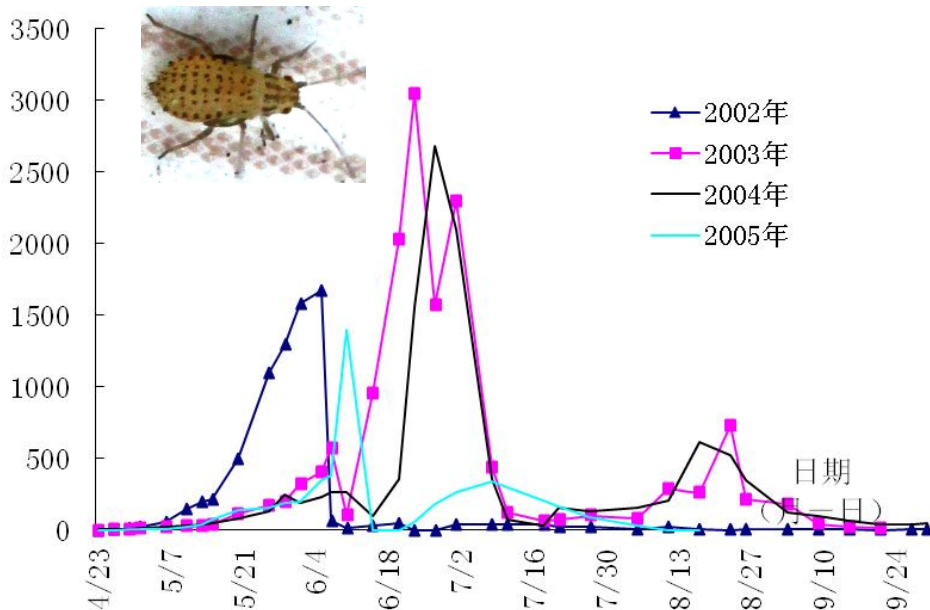
(北京, 2006)



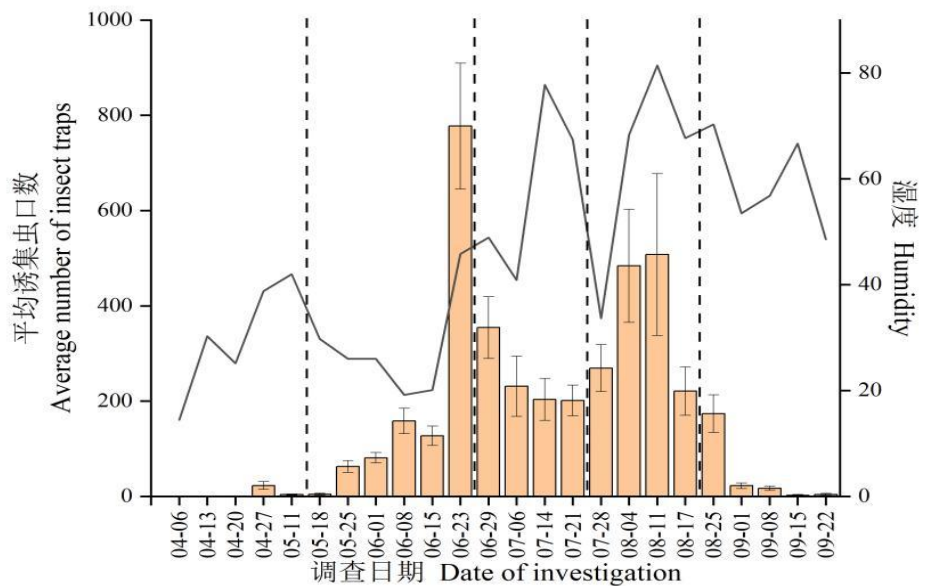
田间发生规律

- 蚜虫、蓟马
- 气候条件:
- 田间管理:

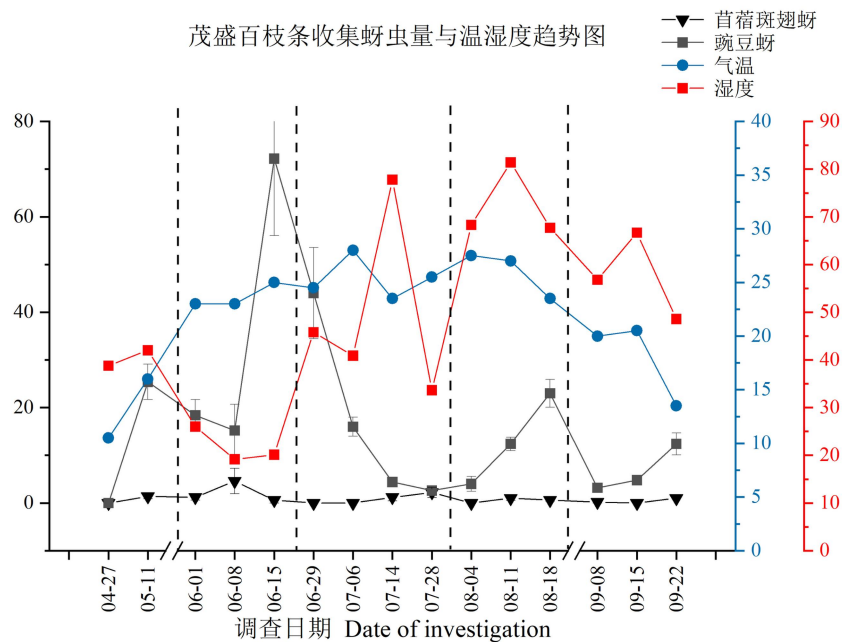
百枝条虫量(头)



茂盛黄板蚜虫诱集量与湿度趋势图



茂盛百枝条收集蚜虫量与温湿度趋势图

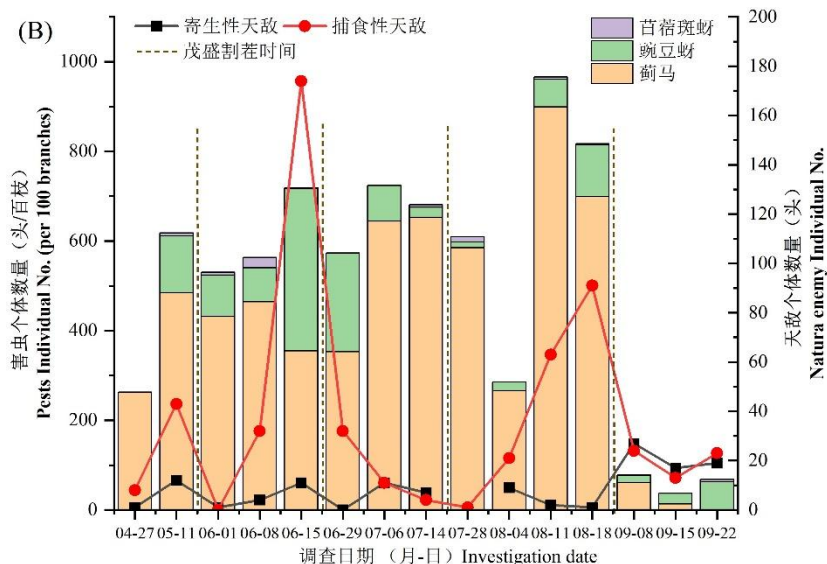
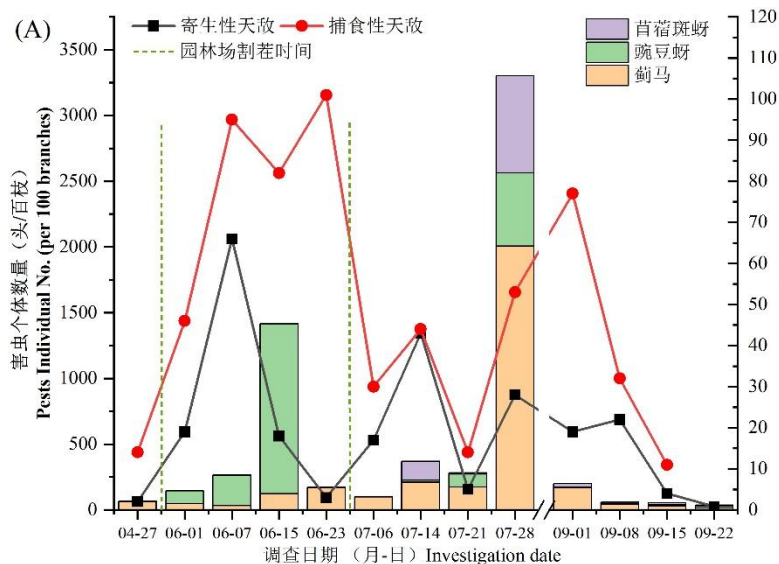




田间发生规律

寄生性天敌：**寄生蜂**，48种

捕食性天敌：**小花蝽、瓢虫、食蚜蝇**，3大类9种



寄生蜂



小花蝽



瓢虫



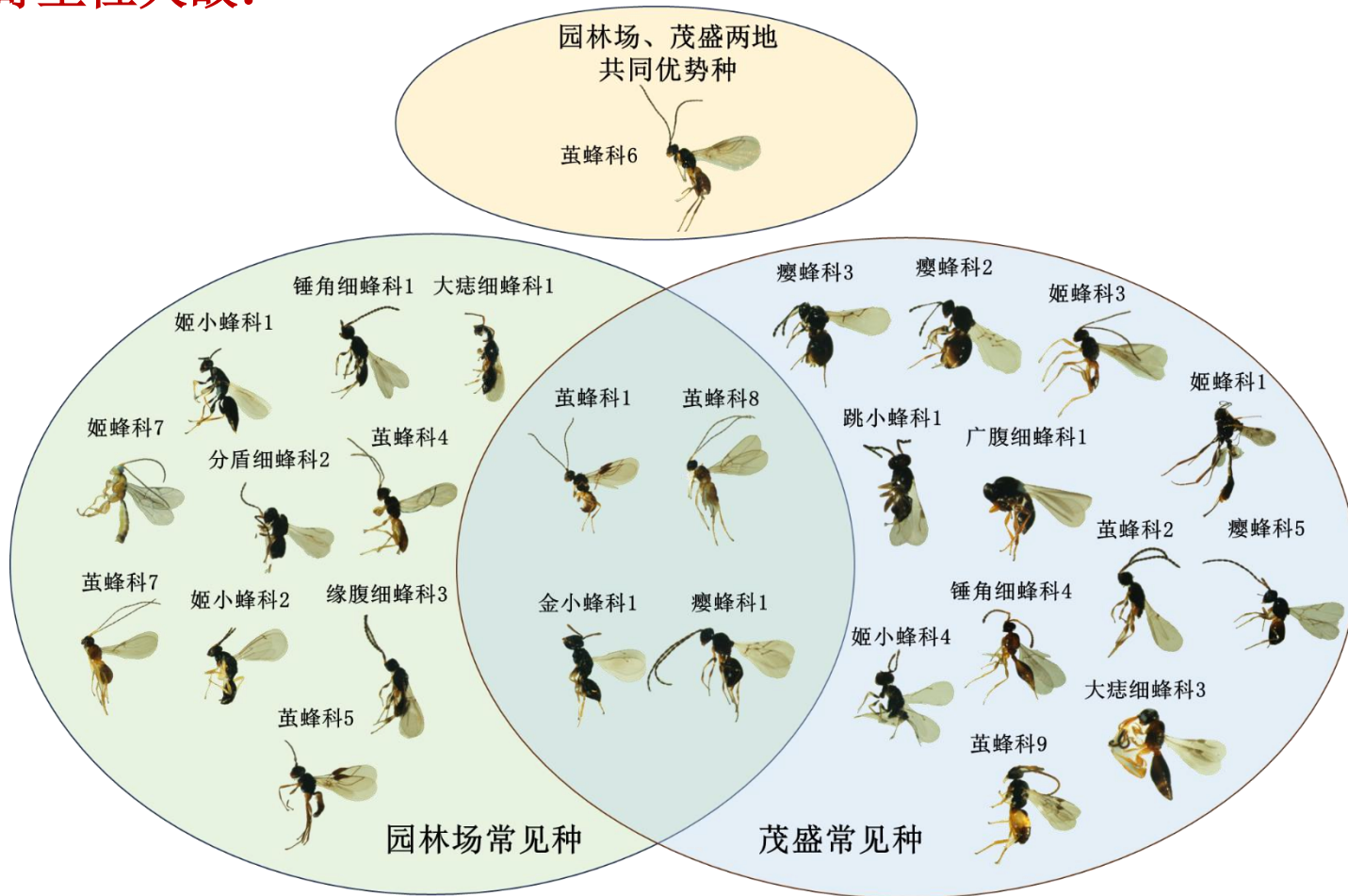
食蚜蝇



田间发生规律

寄生性天敌:

苜蓿草田寄生蜂种类 (银川, 2023)



茧蜂科6: 优势天敌种种, 占比最高分别为59.15%(园林场)和35.25%(茂盛)

常见种共27种, 其中两地共有常见种4种, 分别为茧蜂科1、茧蜂科8、金小蜂科1和瘦蜂科1

苜蓿草田寄生蜂种类及数量（银川，2023）

物种 Species	园林场		茂盛		合计
	个体数	比例 (%)	个体数	比例 (%)	
茧蜂科6	168	59.15%	43	35.25%	211
茧蜂科8	13	4.58%	9	7.38%	22
茧蜂科1	14	4.93%	6	4.92%	20
茧蜂科5	11	3.87%	1	0.82%	12
瘦蜂科3	1	0.35%	7	5.74%	8
瘦蜂科1	3	1.06%	5	4.10%	8
金小蜂科1	4	1.41%	3	2.46%	7
瘦蜂科2	1	0.35%	5	4.10%	6
锤角细蜂科1	5	1.76%	1	0.82%	6
大痣细蜂科1	5	1.76%	1	0.82%	6
姬小蜂科1	6	2.11%	0	0.00%	6
锤角细蜂科4	0	0.00%	5	4.10%	5
茧蜂科9	2	0.70%	3	2.46%	5
分盾细蜂科2	4	1.41%	1	0.82%	5
茧蜂科4	4	1.41%	1	0.82%	5
茧蜂科7	4	1.41%	1	0.82%	5
姬蜂科7	5	1.76%	0	0.00%	5
姬小蜂科4	0	0.00%	4	3.28%	4
跳小蜂科1	1	0.35%	3	2.46%	4
广腹细蜂科1	2	0.70%	2	1.64%	4
缘腹细蜂科2	2	0.70%	2	1.64%	4
姬小蜂科2	3	1.06%	1	0.82%	4
姬蜂科1	1	0.35%	2	1.64%	3
姬蜂科2	2	0.70%	1	0.82%	3
茧蜂科3	2	0.70%	1	0.82%	3
缘腹细蜂科3	3	1.06%	0	0.00%	3
大痣细蜂科3	0	0.00%	2	1.64%	2
姬蜂科3	0	0.00%	2	1.64%	2
茧蜂科2	0	0.00%	2	1.64%	2
瘦蜂科5	0	0.00%	2	1.64%	2



田间发生规律

捕食性天敌：苜蓿草田捕食性天敌种类及数量（银川，2023）

物种Species	学名Scientific name	园林场		茂盛		合计
		个体数	比例 (%)	个体数	比例 (%)	
南方小花蝽	<i>Orius similis</i>	272	40.06%	59	10.93%	331
多异瓢虫	<i>Hippodamia variegata</i>	120	17.67%	146	27.04%	266
东亚小花蝽	<i>Orius sauteri</i>	43	6.33%	160	29.63%	203
龟纹瓢虫	<i>Propylaea japonica</i>	63	9.28%	125	23.15%	188
月斑鼓额蚜蝇	<i>Scaeva selenitica</i>	100	14.73%	28	5.19%	128
黑点食蚜盲蝽	<i>Deraeocoris punctulatus</i>	63	9.28%	13	2.41%	76
淡色姬蝽	<i>Nabis palifer</i>	6	0.88%	7	1.30%	13
林优蚜蝇	<i>Eupeodes silvaticus</i>	9	1.33%	0	0.00%	9
黄带优蚜蝇	<i>Eupeodes flavofasciatus</i>	3	0.44%	2	0.37%	5
合计Total		679	100%	540	100%	1219



东亚小花蝽



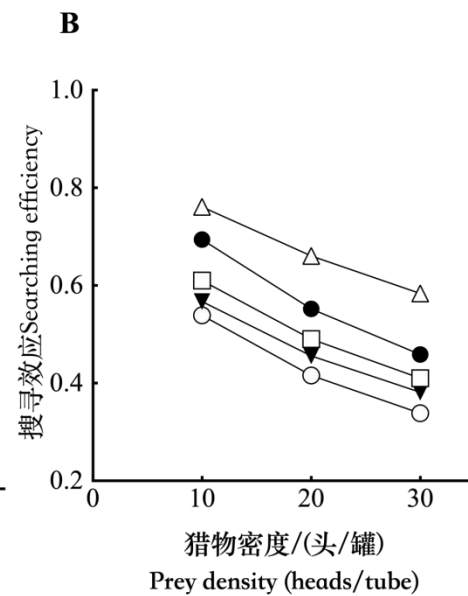
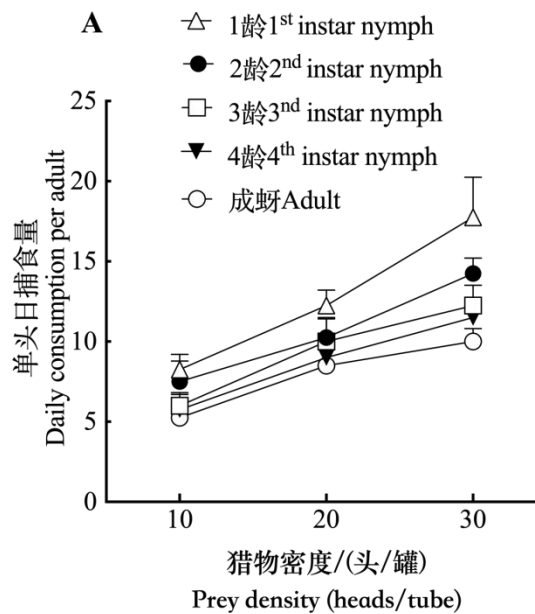
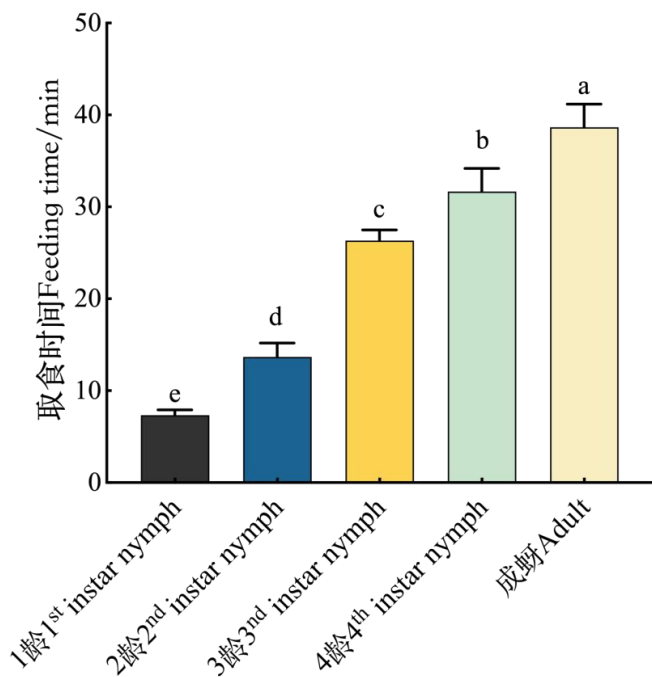
龟纹瓢虫



月斑鼓额蚜蝇



捕食性天敌南方小花蝽对蚜虫的捕食功能评价



捕食性天敌南方小花蝽对苜蓿斑蚜不同龄期捕食功能反应

龄期	捕食功能反应模型	R ²	瞬时攻击率 a	处理时间 T_h	捕食能力 a/T_h	日最大捕食量 $1/T_h$ (头)
1龄	$Na=0.898N/(1+0.020N)$	0.856	0.898	0.020	44.90	50.00
2龄	$Na=0.934N/(1+0.037N)$	0.836	0.934	0.037	25.24	27.02
3龄	$Na=0.807N/(1+0.040N)$	0.861	0.807	0.040	20.18	25.00
4龄	$Na=0.750N/(1+0.043N)$	0.894	0.750	0.043	17.44	23.26
成蚜	$Na=0.766N/(1+0.055N)$	0.824	0.766	0.055	13.93	18.18

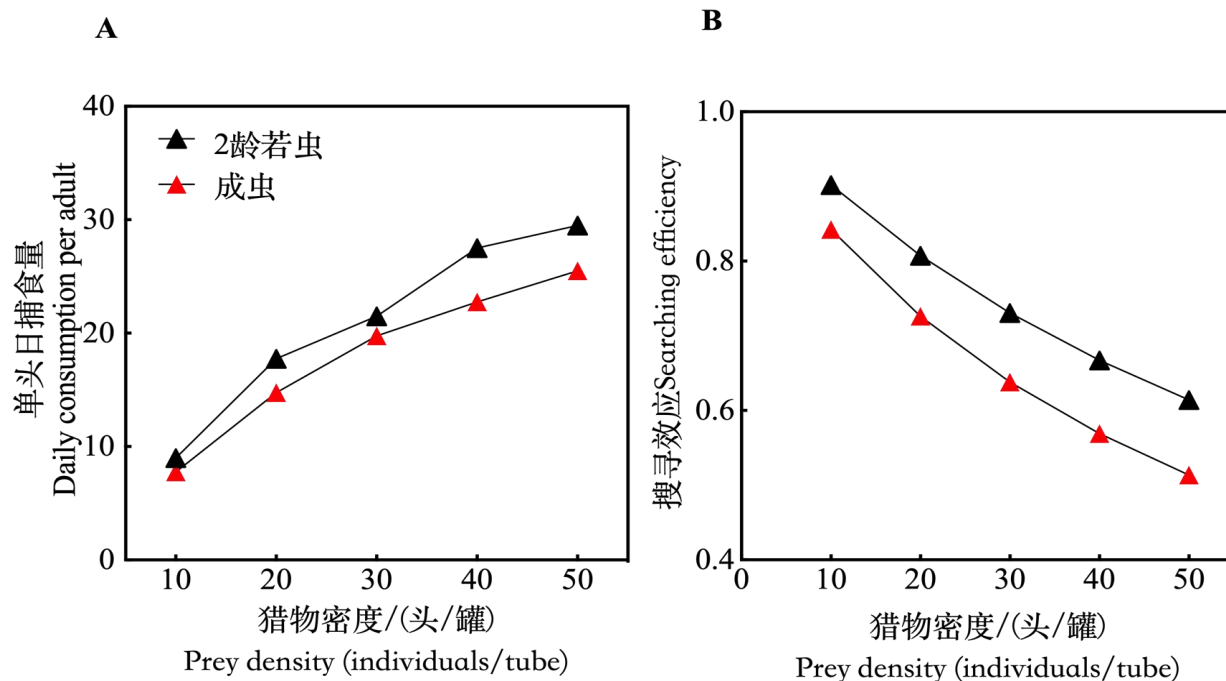
捕食性天敌南方小花蝽对蓟马的捕食功能评价

南方小花蝽对普通大蓟马的捕食功能反应模型根据HollingII型圆盘方程拟合得出，南方小花蝽成虫对普通大蓟马2龄若虫日最大捕食量可以达到76.92头，对普通大蓟马成虫日最大捕食量为52.62头。



龄期	捕食功能反应模型	R ²	瞬时攻击率	处理时间	捕食能力	日最大捕食量 (1/T _h) /头
2龄若虫	$Na = 1.022N / (1 + 0.013N)$	0.929	1.022	0.013	78.62	76.92
成虫	$Na = 1.003N / (1 + 0.019N)$	0.921	1.003	0.019	52.79	52.62

捕食性天敌南方小花蝽对蓟马的捕食功能评价

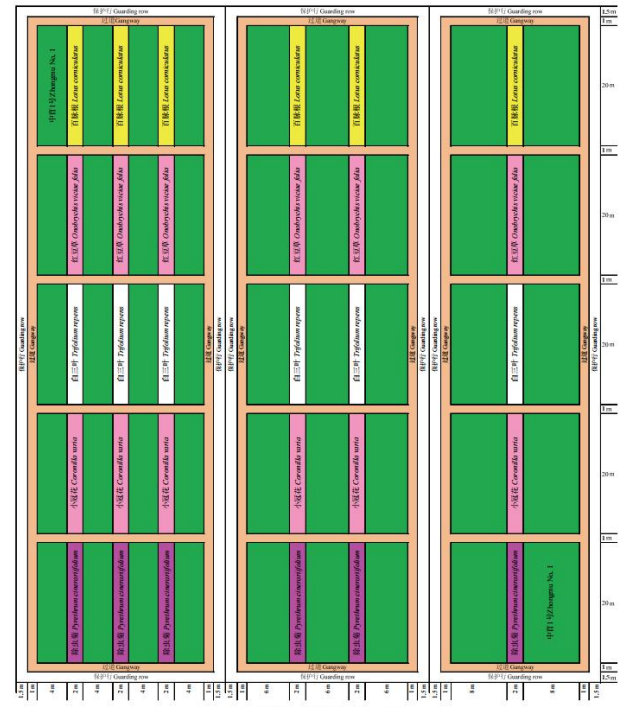
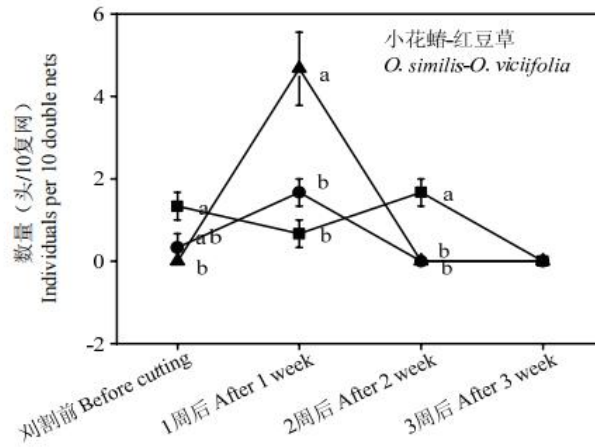
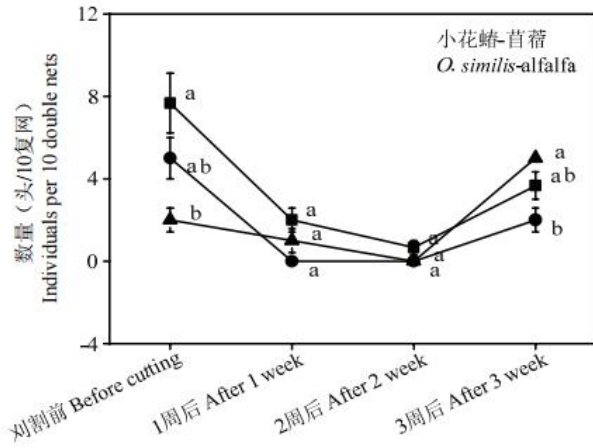
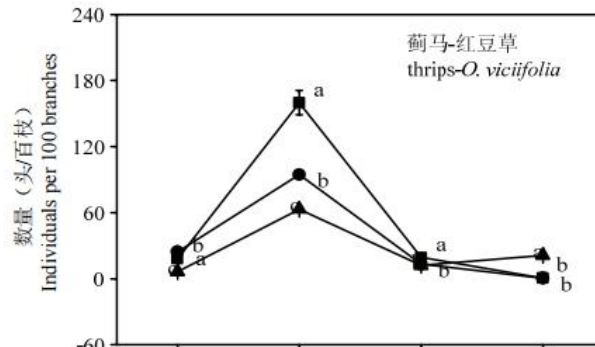
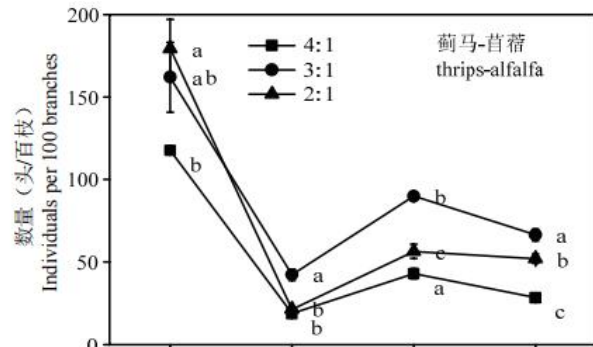


南方小花蝽成虫对普通大蓟马的日捕食量 (A) 和搜寻效应 (B)

南方小花蝽对普通大蓟马捕食量随猎物密度的增加而增大，**成正比**；搜寻效应随猎物密度增大而减小，**成反比**。

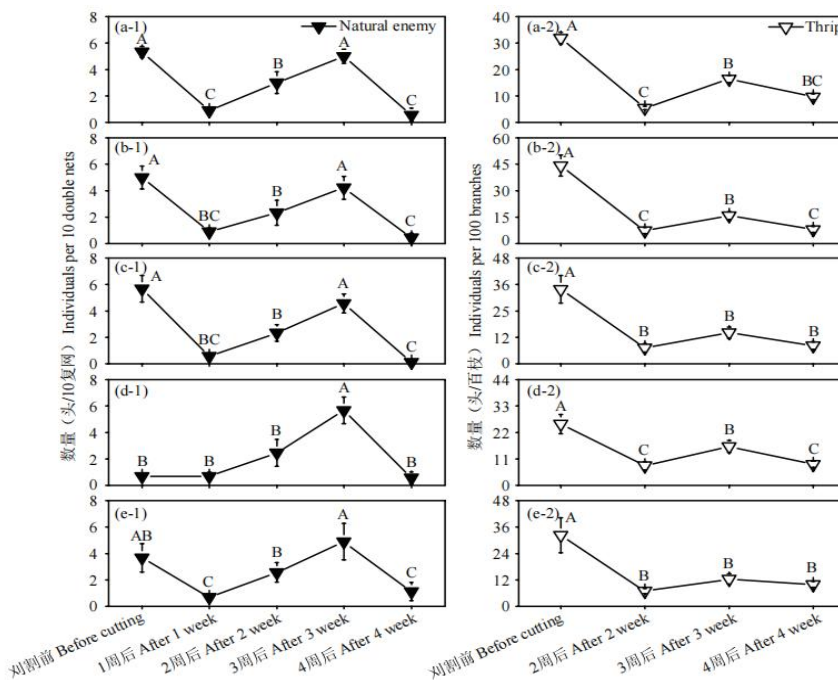
苜蓿与功能植物间作比例对蓟马及天敌小花蝽的影响

苜蓿与红豆草、白三叶、除虫菊、百脉根四种种功能植物以 4:1 的比例进行间作后，对天敌具有显著的吸引作用，从而对苜蓿害虫具有较好的控制作用，调控效果大多高于或显著高于 2:1 和 3:1 两个间作比例，4:1 比例间作的苜蓿草田蓟马的数量低于或显著低于其它两个间作比例

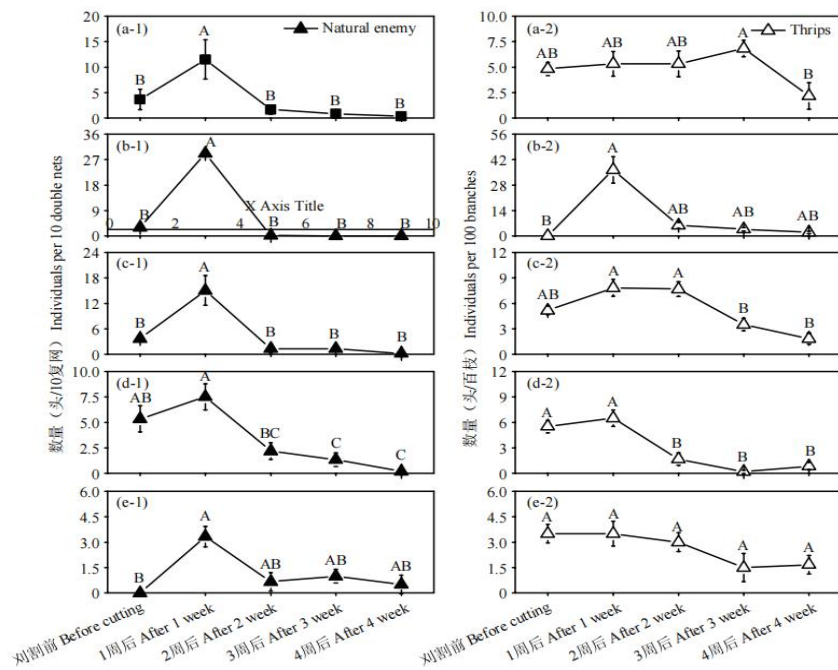


苜蓿草田内/不同功能植物区内天敌小花蝽及蓟马种群变化

苜蓿草田内



不同功能植物区内



功能植物区: 百脉根、红豆草、白三叶、小冠花及除虫菊





苜蓿盲蝽-种类

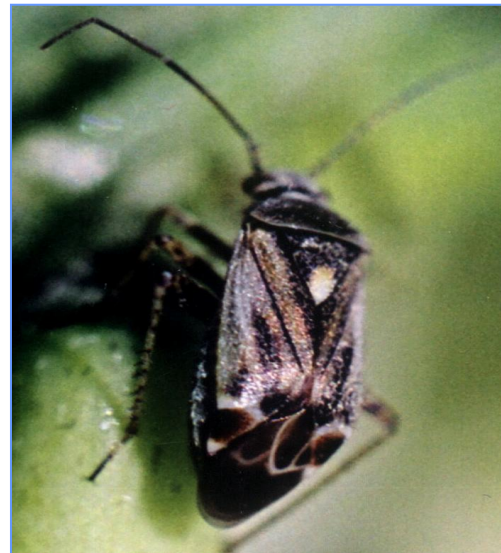
牧草盲蝽



苜蓿盲蝽



赤斑盲蝽



三点盲蝽



绿盲蝽

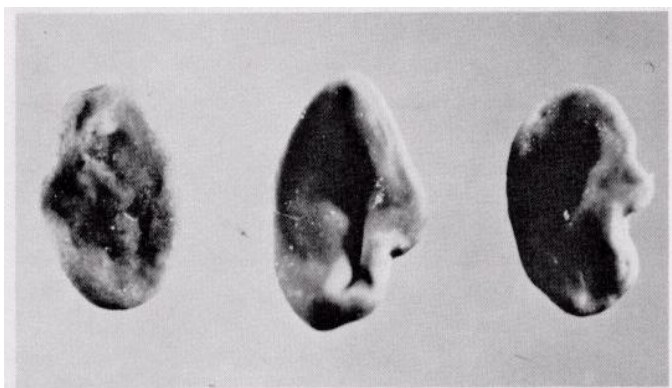
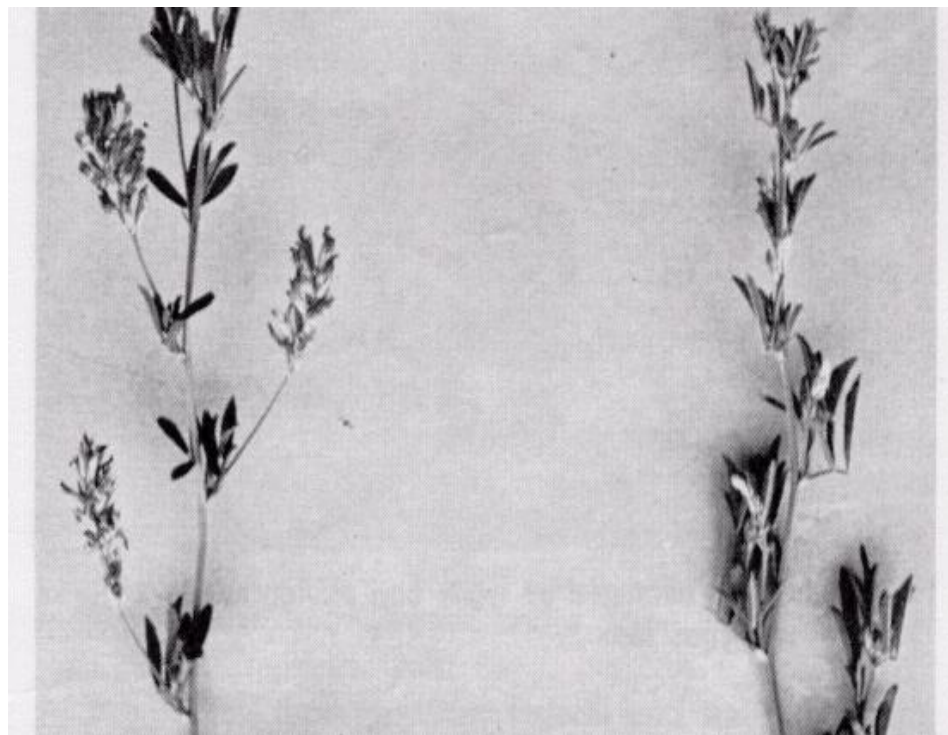




成虫、幼虫均为害

主要刺吸植物幼叶、花蕾、子房汁液

频繁转移为害



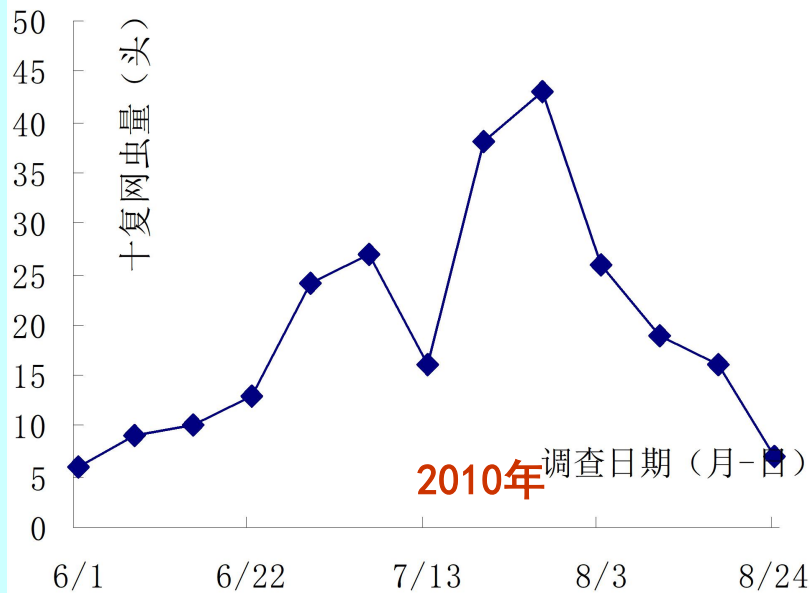
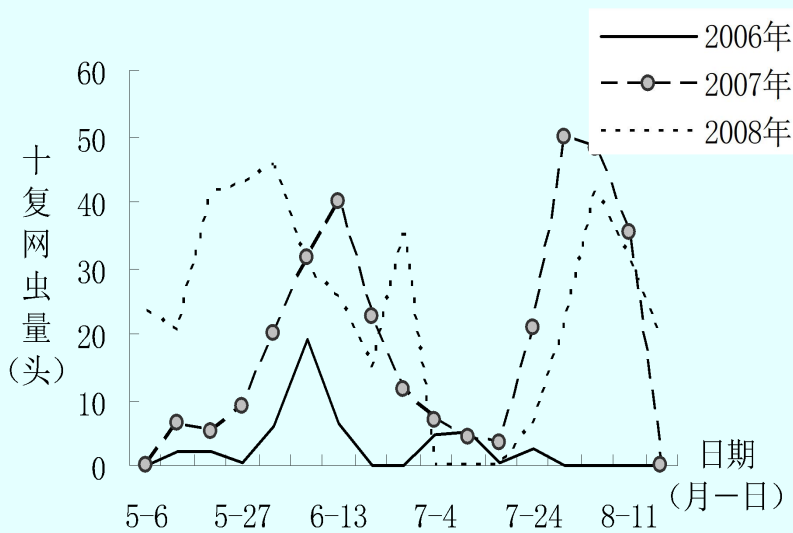
1.5 Alfalfa seed damaged by lygus bug photographed 2 weeks after the lygus fed.



苜蓿盲蝽-田间发生规律



苜蓿盲蝽田间数量消长变化





食叶类害虫-为害状





食叶类害虫-主要种类

- 叶甲类
- 蛾类
- 芫菁







地下害虫

金龟甲幼虫





为害种籽的主要害虫

➤ 苜蓿籽象 (*Tychius medicaginis* Bris)



➤ 苜蓿籽蜂 (*Bruchophagus gibbus* Boheman)



苜蓿虫害调查监测方法



虫害调查和监测方法

依不同害虫生活习性和为害特点

百枝条法

- 适用对象：**蚜虫**、**蓟马**及叶象甲等
- 20枝条/点，逐枝条统计虫口数量
- 百枝条虫量：表示害虫发生程度



五点取样法

吸虫塔诱集法



黄板法





虫害调查和监测方法

网捕法:

- **适用对象:** 盲蝽、夜蛾科等害虫及天敌等
- **调查内容:** 昆虫种类与数量
- **具体操作:** 每点采取扫网与目测相结合的方法，田间记录目测的昆虫种类与数量，每点扫网50复网，分别向左向右一次180度为1复网，采集网内所有昆虫，统计网内所有昆虫的种类与数量。





虫害调查和监测方法

地面计算法(样框法):

- 适用对象: 象甲等地面活动成虫调查采取此法
- 单位: 虫口数量/平方米

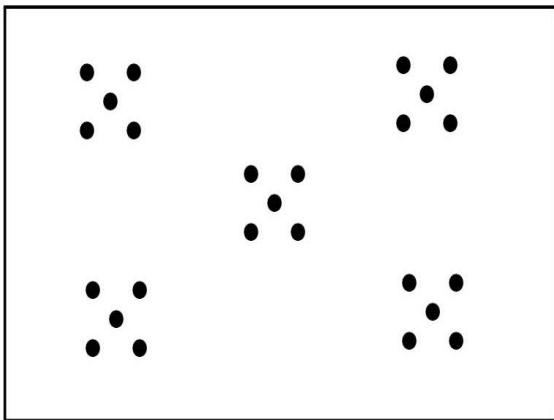




虫害调查和监测方法

巴氏罐诱集法:

- 适用对象：土栖昆虫
- 5个诱杯/小区，引诱点间隔约1.5m以上
- 引诱剂：醋、糖、医用酒精和水的混合物，重量比为2：1：1：20，40-60ml/诱杯
- 频率：每隔5天收集一次，并同时更换糖醋液





虫害调查和监测方法

苜蓿主要害虫防治指标

通过人工接虫，研究苜蓿斑蚜、蓟马、草地螟和黄草地螟四种害虫数量与苜蓿干草产量损失之间的相关性，建立害虫口密度与产量损失率的回归模型和相关系数 r ，根据干草产量、**市场价格**、**防治成本**、**防治效果**等因素进行综合分析，确定其经济允许损失水平（EIL），制定苜蓿地害虫的防治指标

$$EIL = \frac{C \times F}{P \times Y \times E_c} \times 100$$

C为防治一次的成本

F为校正系数即效益因子

P为苜蓿干草的平均单价

Y为单位面积苜蓿干草产量

E_c 为田间防治效果



虫害调查和监测方法

苜蓿主要害虫防治指标

主要害虫	经济允许损失水平 (EIL)		防治指标 (头 / 百枝条)	
	旱地	水地	旱地	水地
斑蚜	9.63%	6.00%	2100	1600
蓟马	9.38%	二茬:5.48% 三茬:9.73%	560	二茬:390 三茬:580
草地螟	8.90% 13.35%	6.16%	二茬:10 三茬:14	7
黄草地螟	8.90% 13.35%	6.16%	二茬:45 三茬:60	36

苜蓿虫害防治技术



苜蓿虫害防治技术-化学药剂防治



- **天敌的保护和利用：**苜蓿田间天敌种类和数量较多，尽可能选用对天敌低毒农药，以保持其种群数量。
- **药剂的选择：**吡虫啉乳油、啶虫脒乳油、乙基多杀菌素、噻虫嗪、阿维•啶虫脒微乳剂、高效氯氰菊酯等
- **苜蓿收草田：**在第二茬苜蓿的虫口密度达防治指标时，应进行喷雾防治，及时控制虫口基数。一般在苜蓿株高30~40 cm时喷施农药，防治效果好
- **苜蓿种子田：**苜蓿植株60 cm左右时，施用内吸型药剂防治蓟马和蚜虫类害虫，避免杀伤花期主要的传粉昆虫，影响苜蓿种子产量。





苜蓿虫害防治技术-化学药剂防治



试验药剂	稀释倍数	药前百枝条虫量(头)	药后1d		药后7d		药后15d	
			百枝条虫量(头)	防效%	百枝条虫量(头)	防效%	百枝条虫量(头)	防效%
吡虫啉	2000	238	0	100.00	28	97.33	28	82.91 a
毒死蜱	1500	277	40	84.84	33	90.38	33	83.07 a
啶虫脒	2000	302	89	68.92	30	94.67	30	85.88 ab
CK	/	233	222	/	181	/	162	/



试验药剂	稀释倍数	药前百枝条虫量(头)	药后1d		药后7d		药后15d	
			百枝条虫量(头)	防效(%)	百枝条虫量(头)	防效(%)	百枝条虫量(头)	防效(%)
吡虫啉	2000	82	2	96.91	38	71.34	197	17.81
毒死蜱	1500	71	7	88.67	125	-8.55	389	-89.07
啶虫脒	2000	77	6	91.05	106	16.14	271	-20.23
CK	/	86.	79	/	141	/	251	/



苜蓿虫害防治技术-化学药剂防治-抗药性

- **抗性水平高：** 啶虫脒， 溴氰菊酯， 50.6-121.57 倍之间
- **中等水平抗性：** 溴氰虫酰胺、溴虫腈、多杀菌素和阿维菌素， 抗性倍数为 10-30倍之间
- **低等抗性水平：** 乙基多杀菌素, 噻虫嗪, 甲维盐

药剂名称	毒力回归方程	LC50 (mg/L)	95%置信区间 (IC)	抗性倍数 (RR)
高效氯氰菊酯	敏感品系 $y=1.3x-0.165$	1.340	0.719-2.210	99.57
Cypermethrin	抗性品系 $y=3.543x-7.529$	133.424	73.773-184.43	
高效氯氟氰菊酯	敏感品系 $y=1.259x+0.13$	0.818	0.475-1.297	109.3
Cyhalothrin	抗性品系 $y=2.745x-5.356$	89.392	71.028-109.453	

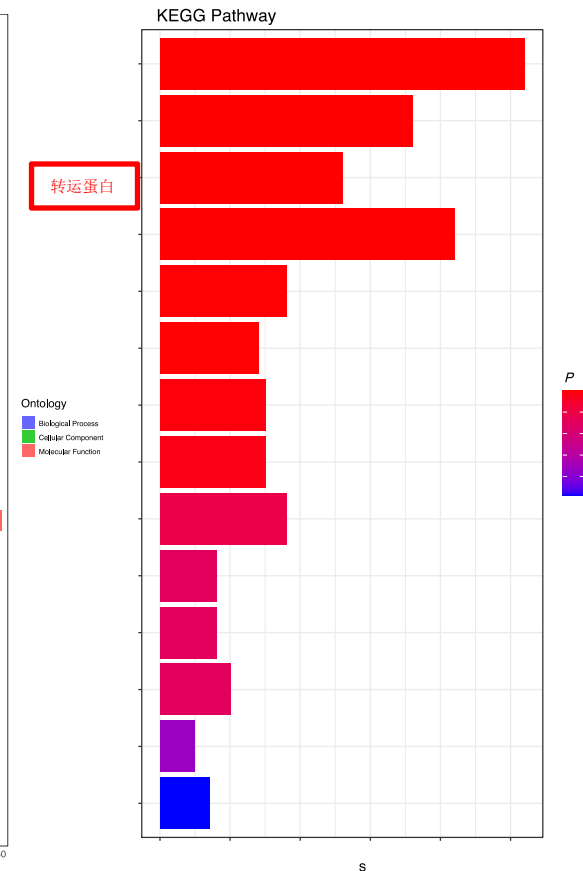
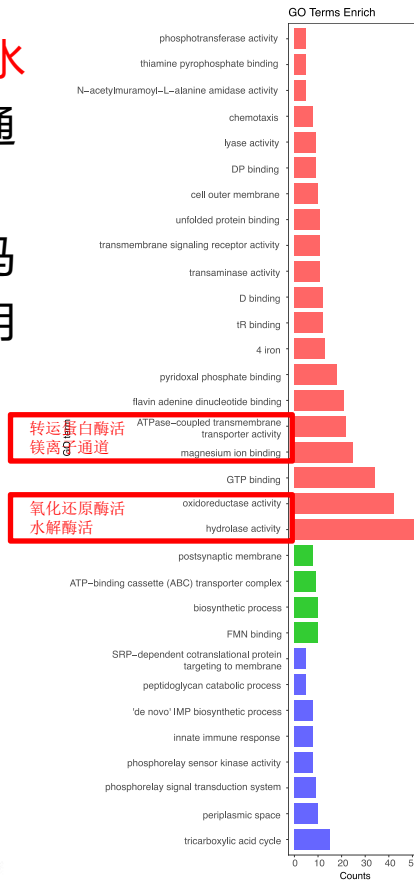
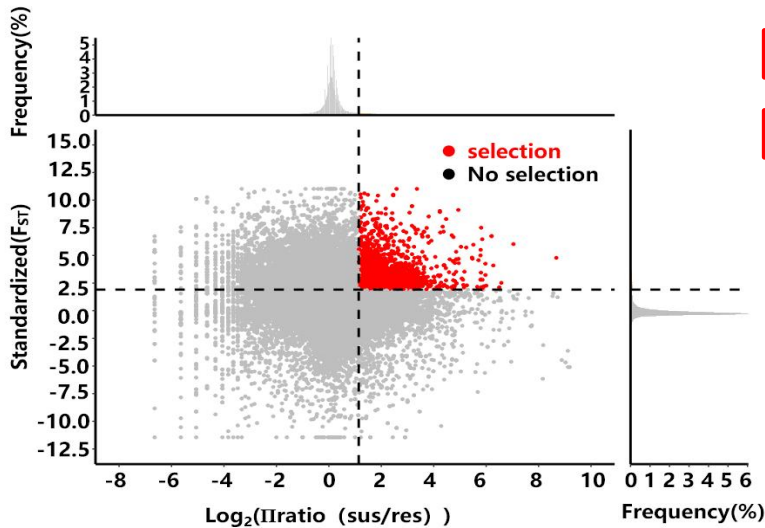
溴氰菊酯、联苯菊酯、丙烯菊酯、烯炔菊酯



苜蓿虫害防治技术-化学药剂防治-抗药性机制

受杀虫剂强烈选择基因及其富集通路

- 1664个受到强烈选择的基因，大量富集到水解酶活、氧化还原酶活性和转运蛋白酶活通路，少量富集到离子通道结合通路
- 说明解毒酶的代谢作用可能在牛角花齿蓟马响应杀虫剂选择压的代谢活动中起重要作用



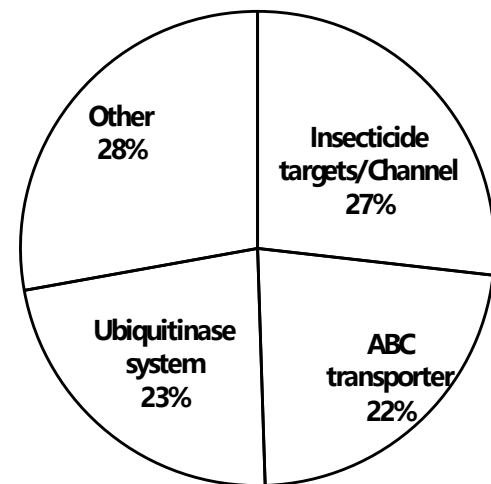


苜蓿虫害防治技术-化学药剂防治-抗药性机制

牛角花齿蓟马抗杀虫剂相关基因的深度挖掘

➤ 结合文献对1664个基因进一步筛选，找到97个和抗性相关的基因

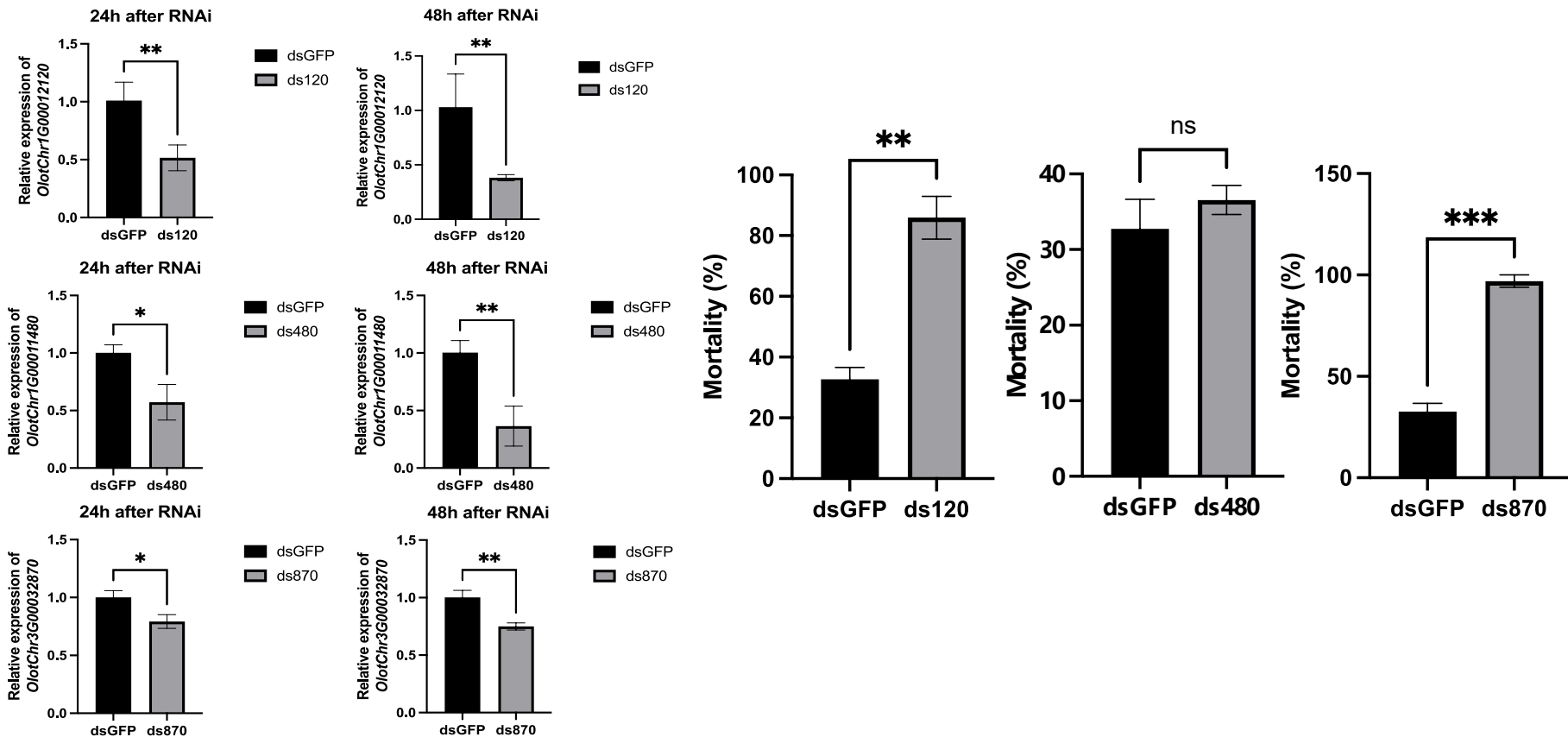
Number	Category	描述
26	Insecticide targets/Channel	杀虫剂靶标/通道
22	ABC transporter	ABC转运蛋白：能调控离子通道，影响受体蛋白和核糖核酸酶抑制剂的翻译及组装，昆虫抗药性方面增加杀虫剂的排出。
22	Ubiquitinase system	泛素系统：泛素(UBI)是真核细胞中普遍存在的小分子蛋白质，其基本功能是通过泛素-蛋白酶体途径(UPP)高效选择性降解蛋白质，调控细胞生长、细胞周期调控、细胞凋亡以及信号转导。
7	G-protein-coupled receptors	G蛋白偶联受体： gpcr 参与识别细胞外信使，将信号转导到细胞质，并介导生物体正常生理功能所需的细胞反应，影响昆虫生理、繁殖、生长、压力反应和取食等。
4	Digestive enzymes	消化酶
3	Cytochrome P450s	细胞色素氧化酶：参与外源性化合物的生物转化,介导杀虫剂的代谢解毒作用增强抗性和交互抗性。
3	Methylated protein	甲基化酶系：通过向mRNA转移或去除甲基来影响RNA的选择性剪接、稳定性、出核、翻译和降解等分子功能，进而调控生物学功能。
3	Cuticle	表皮蛋白
4	Signal recognition	信号传导相关蛋白
2	Low-density lipoprotein receptor	低密度脂蛋白受体：参与胆固醇的脂蛋白转运，胆固醇是合成蜕皮激素的重要前体。
1	Protective enzymes	保护酶：清除昆虫体内的自由基,防御活性氧或其他过氧化物自由基对细胞膜系统的伤害





苜蓿虫害防治技术-化学药剂防治-抗药性机制

蓟马对高效氯氟氰菊酯候选抗性基因的功能验证





苜蓿虫害防治技术-农业防治、物理防治

农业防治：

- 选择抗虫品种：
- 结合苜蓿田返青灌溉，施用适当的磷钾肥：不仅有效提高苜蓿的产量，也可以显著提高苜蓿对蓟马的抗性
- 适时提前刈割：苜蓿植株60 cm以上、蚜虫大发生，应尽快提前收割，并留诱虫带，集中消灭蚜虫

物理防治：

蓝色、黄色诱虫板，可有效诱杀苜蓿田中的蓟马、蚜虫等种群，诱虫板的悬挂高度在苜蓿植株顶端10 cm



苜蓿虫害防治技术-生物农药防治

昆虫病原微生物：

- 指能够**侵染**昆虫、使昆虫**感病**或**死亡**的**微生物类群**，它们在田间宿存，伺机侵染寄主昆虫，实现种群繁殖。
- **侵染-繁殖-传播-再侵染**：控制寄主昆虫种群的发展，减少害虫对植物为害

基本作用原理：

- 产生毒素干扰寄主正常生理机能
- 削弱寄主防御功能
- 破坏寄主组织
- 汲取寄主营养、抢夺病菌生长空间实现自身增殖
- 产生代谢物质增强植物免疫等



苜蓿虫害防治技术-以菌治虫

- ◆ 以菌治虫是害虫综合治理的重要手段
- ◆ 欧美等国成功用于草地、林业、蔬菜、地下害虫等多种害虫的生物防治

➤ 白僵菌 (*Beauveria bassiana*) 在全球已注册产品超过40种

寄主广泛，包括鳞翅目、同翅目、膜翅目、直翅目等700多种昆虫和螨



➤ 绿僵菌 (*Metarhizium anisopliae*) 在全球已注册20多种杀虫剂产品

寄主广泛，包括鳞翅目、鞘翅目、直翅目等200多种昆虫



孢子粉生产量：100吨/年。



孢子分级分离系统



物料分离效果



Spores of *Metarhizium anisopliae*
500 × 10⁸ sp/g

一级孢子粉
500亿/g

产品剂型



高孢粉

油剂

饵剂

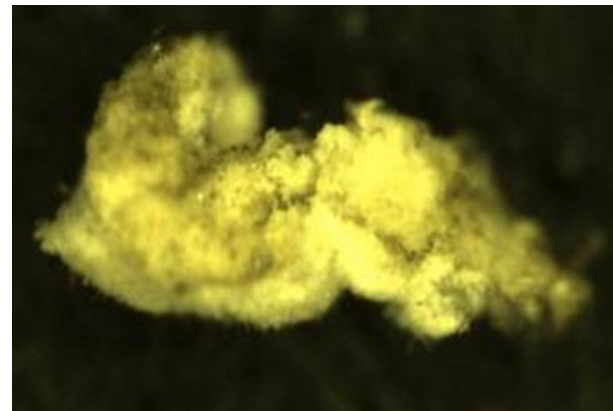
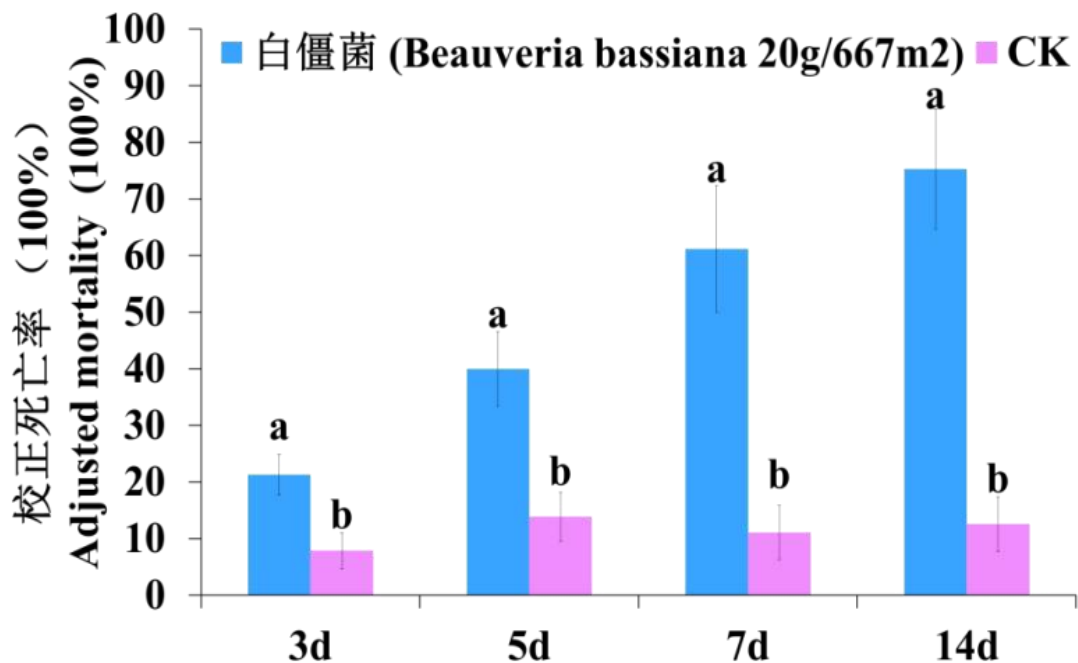
粉剂

颗粒剂



苜蓿虫害防治技术-以菌治虫

- 防治对象：蚜虫+薊马+盲蝽
- 防治效果：达70%以上



苜蓿虫害防治技术-以菌治虫

旱地苜蓿害虫生物防治技术(宁夏宁夏南部山区)

在土壤解冻苜蓿返青萌发时，将白僵菌、绿僵菌等生物药剂结合春季施肥进行土壤处理

两种生物药剂在苜蓿不同茬数对苜蓿蓟马、苜蓿斑蚜的防治效果

处理	苜蓿蓟马防治效果 (%)				处理	苜蓿斑蚜防治效果 (%)			
	1茬	2茬	3茬	平均		1茬	2茬	3茬	平均
绿僵菌	65.79	65.59	75.21	68.86	绿僵菌	72.86	49.68	63.83	62.13
白僵菌	51.70	55.40	67.45	58.18	白僵菌	65.86	48.81	51.64	55.44
平均	58.75	60.50	71.33	63.52	平均	69.36	49.25	57.74	58.78

两种药剂全年对苜蓿蓟马表现出良好、持续的防治效果，全年平均防效为63.52%；对二茬苜蓿斑蚜的防治效果有所下降，防治效果分别为49.68%和48.81%，但对第三茬苜蓿斑蚜防治效果上升，防治效果分别为63.83%和51.64%，两种药剂全年对苜蓿斑蚜的防治效果为58.78%。

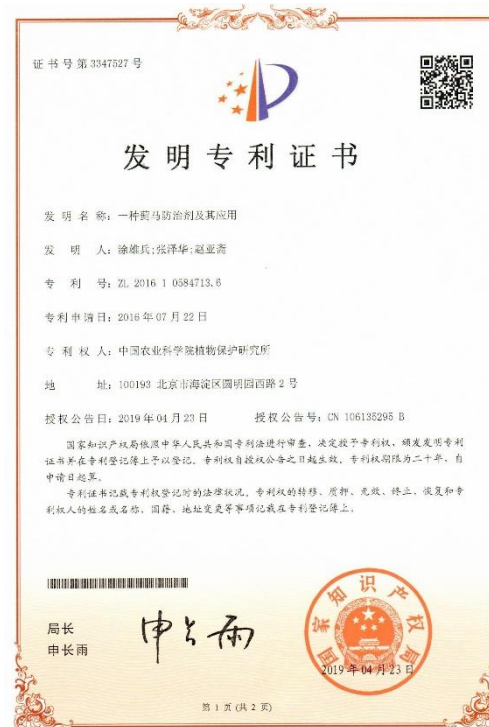
苜蓿虫害防治技术-以菌治虫

“微生物+”防治技术

防治适期：苜蓿生长期或收割后（可与施肥同步进行）

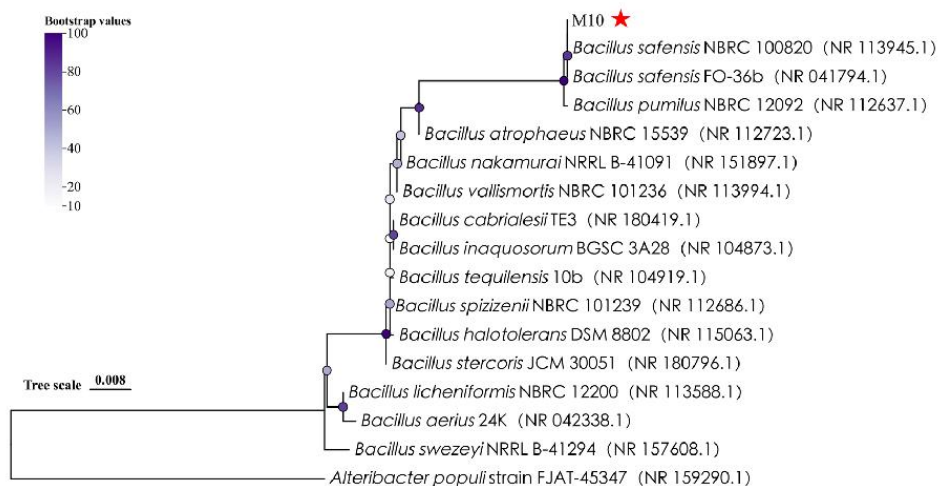
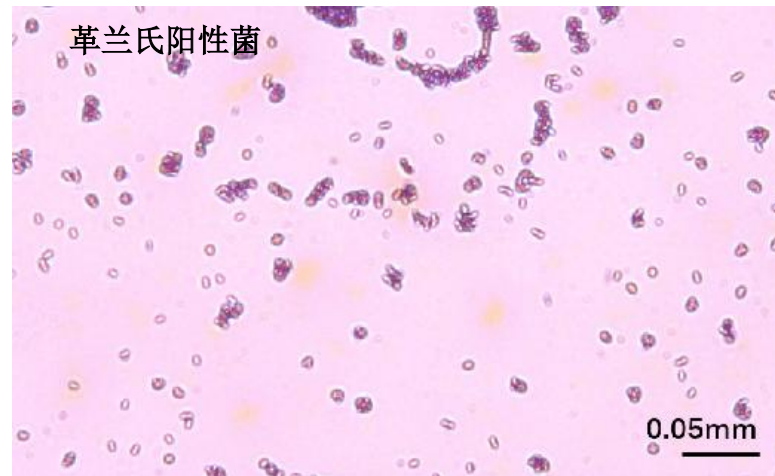
使用剂量：200g/亩， 7.5×10^{12} sp/ha

施用方法：喷施或沟施



苜蓿虫害防治技术-进展及展望

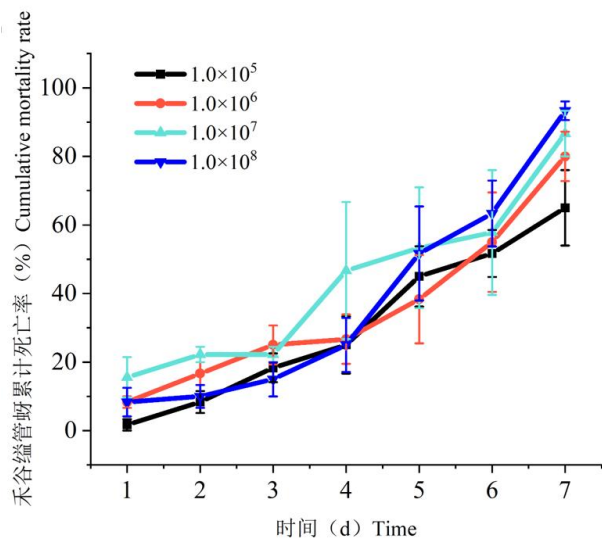
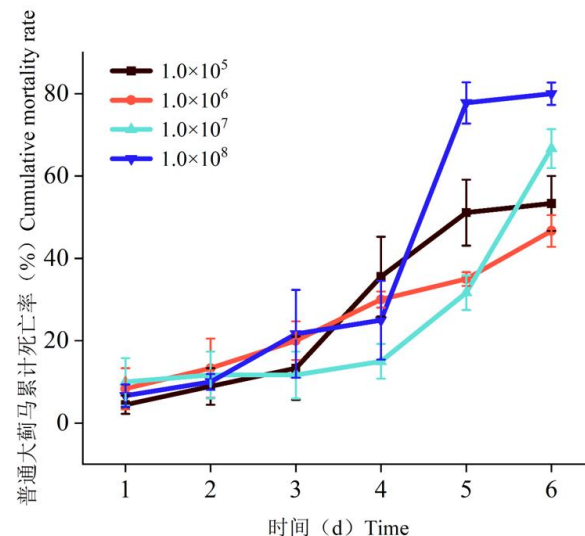
➤ 细菌菌株M10鉴定：沙福芽孢杆菌 *Bacillus safensis*



苜蓿虫害防治技术-进展及展望

- 沙福芽孢杆菌 *B. safensis* 室内毒力测定:
- 防治对象: 蓟马, 蚜虫

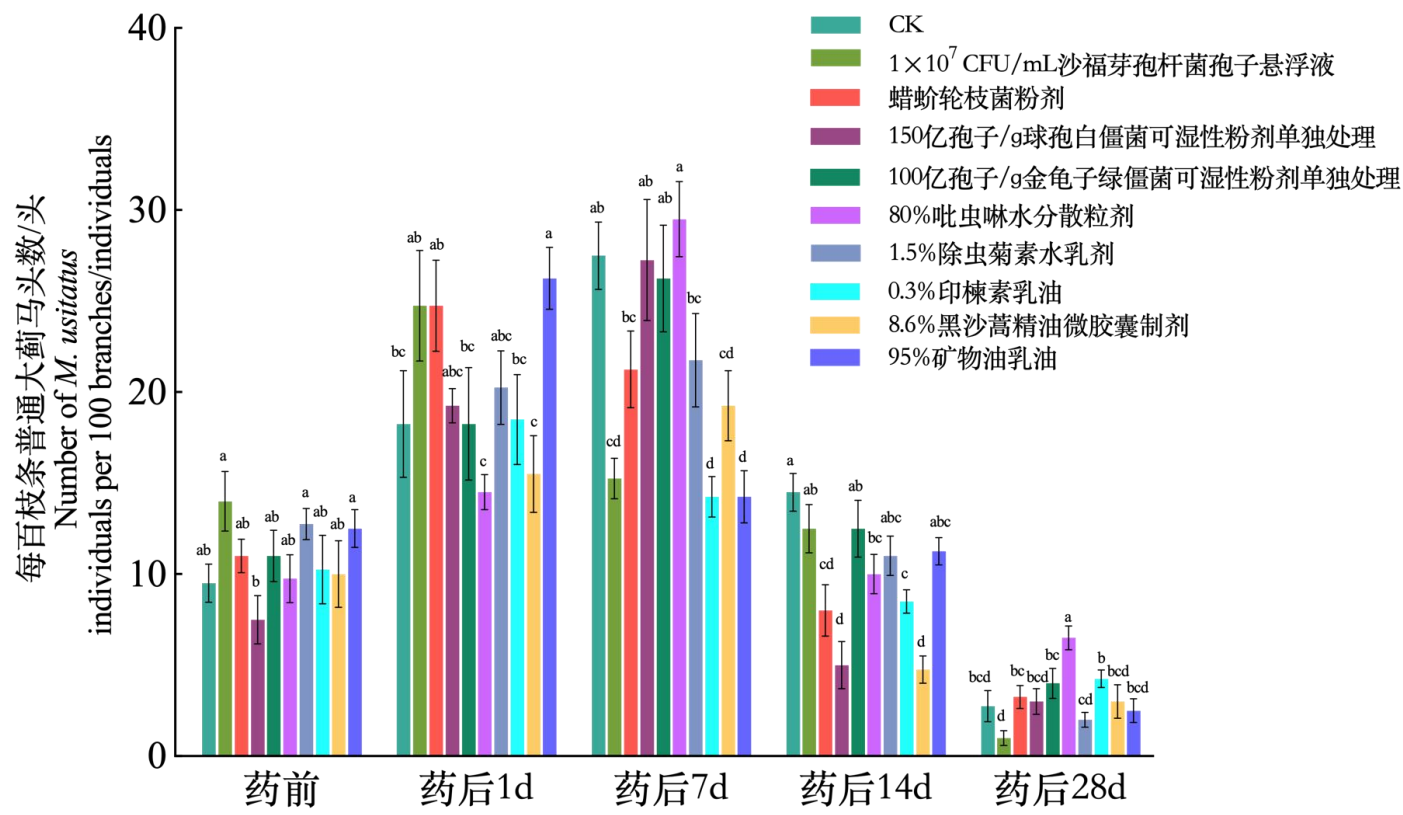
供试昆虫 Test insect	处理 Treatment	回归方程 Egression equation	LT ₅₀ (day)	95%置信区间 95% confidence interval
普通大蓟马	1×10 ⁵ CFU/mL	y=5.871x-4.604	6.085	5.155~10.687
	1×10 ⁶ CFU/mL	y=5.198x-4.4467	7.233	6.075~17.789
	1×10 ⁷ CFU/mL	y=6.782x-5.389	6.232	5.473~9.233
	1×10 ⁸ CFU/mL	y=10.490x-7.268	4.930	4.379~5.410



供试昆虫 Test insect	处理 Treatment	回归方程 Egression equation	LT ₅₀ (day)	95%置信区间 95% confidence interval
禾谷缢管蚜	1×10 ⁵ CFU/mL	y=6.155x-5.005	6.504	5.754~8.298
	1×10 ⁶ CFU/mL	y=7.014x-5.465	6.014	5.329~7.112
	1×10 ⁷ CFU/mL	y=4.308x-3.253	5.691	4.477~10.158
	1×10 ⁸ CFU/mL	y=10.551x-7.808	5.495	4.968~5.925

苜蓿虫害防治技术-进展及展望

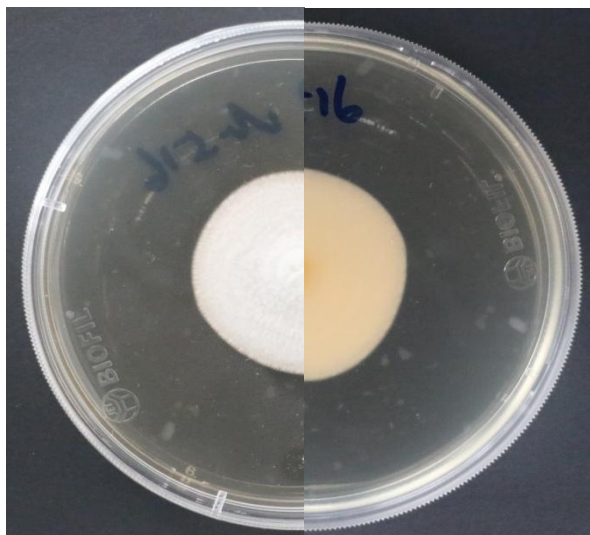
对蓟马的田间防效:



苜蓿虫害防治技术-进展及展望

生防菌株的筛选 (室内)

室内分离筛选，获得纯化单菌株



生防菌单菌落正/反面



编号	菌落直径/mm	生长速率/(mm/d)
1-1	48.00±0.50 ef	2.90±0.17 a
1-4	42.00±0.76 g	2.94±0.40 a
1-5	57.00±1.04 b	2.96±0.22 a
1-7	57.00±0.87 b	2.97±0.08 a
2-1	53.00±0.29 c	3.15±0.29 a
2-2	51.00±0.29 cd	2.93±0.18 a
2-6	47.00±1.53 f	2.81±0.27 a
2-8	50.00±0.76 de	3.15±0.32 a
3-1	53.00±1.32 c	3.40±0.28 a
3-2	47.00±0.87 f	3.14±0.31 a
3-3	43.00±0.76 g	2.84±0.23 a
3-4	61.00±0.50 a	3.23±0.19 a

苜蓿虫害防治技术-进展及展望

生防菌株的防效测定 (室内)

对蓟马等小型刺吸植物汁液为害昆虫具杀虫活性

菌液浓度	Probit回归方程	95%置信区间(天)	D50 (天)	P
10^7	-2.13+4.07	2.94-3.75	3.34	0.26
10^6	-3.10+5.16	3.60-4.38	3.98	0.22
10^5	-3.31+5.51	4.08-4.98	4.50	0.78
10^4	-3.09+4.19	4.87-6.33	5.45	0.99

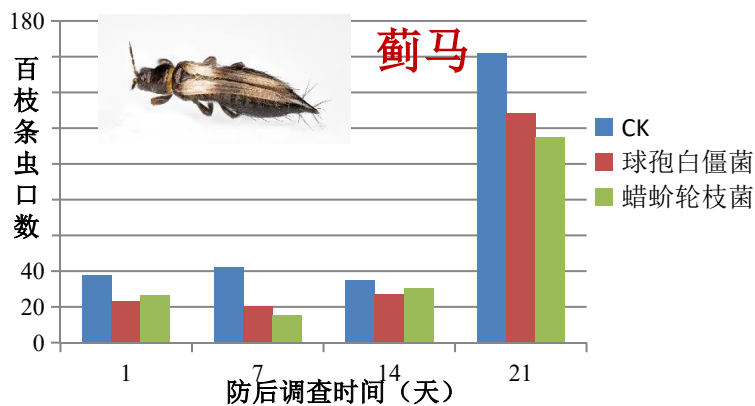
死虫被培养后体表的菌丝



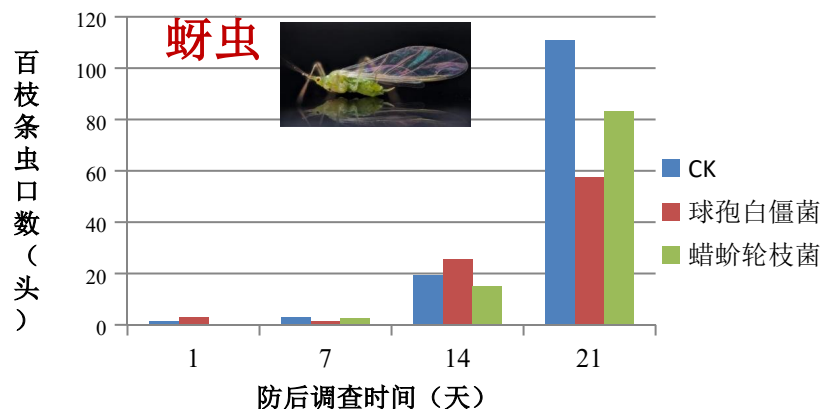
苜蓿虫害防治技术-进展及展望

生防菌株的田间防控效果

田间使用，对苜蓿上的蓟马等小型刺吸植物汁液为害昆虫具防效

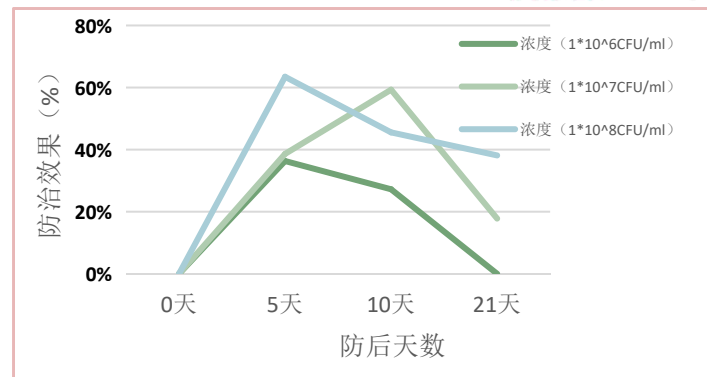


(宁夏, 2022)



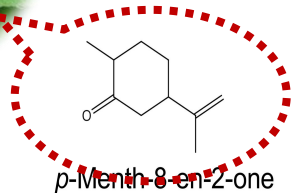
(内蒙古, 2021)

供试药剂	防治害虫	防效 (%)			
		药后 1d	药后 7d	药后 14d	药后 21d
球孢白僵菌	蚜虫	-150 ± 166.67b	55.56 ± 11.11a	-30.58 ± 16.39abc	48.35 ± 12.79ab
蜡蚧轮枝菌	蚜虫	72.22 ± 27.78ab	11.11 ± 40.06a	22.68 ± 14.88a	25.23 ± 7.66bc
球孢白僵菌	蓟马	38.27 ± 13.34ab	50.79 ± 5.72a	21.46 ± 24.96a	20.88 ± 6.68ab
蜡蚧轮枝菌	蓟马	30.34 ± 1.76ab	62.7 ± 4.2a	12.84 ± 1.92a	29.1 ± 5.86a

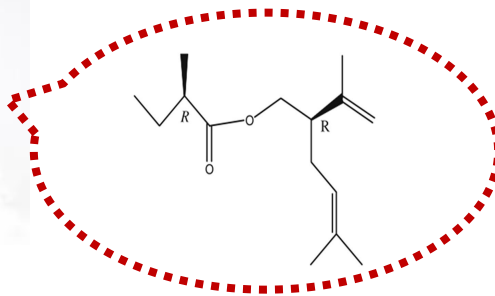


苜蓿虫害防治技术-进展及展望

➤ 植物源化学物质

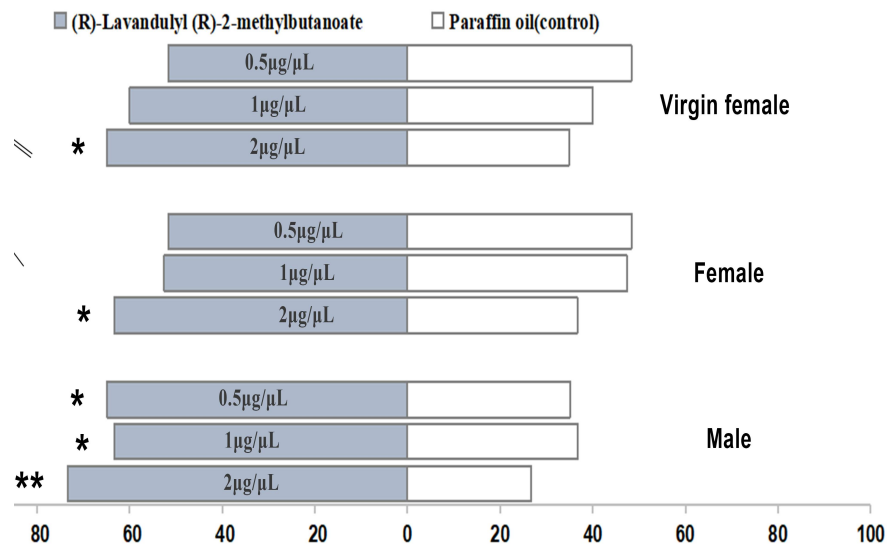
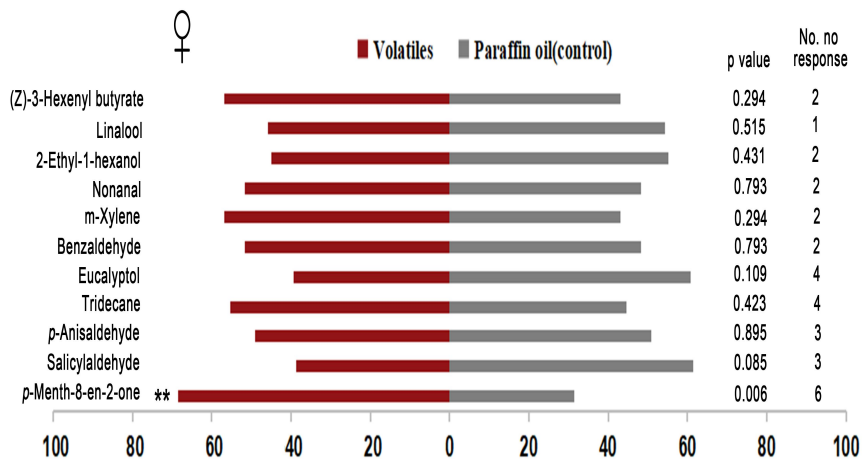


➤ 蓟马虫体挥发性化学物质



(R)-lavandulyl (R)-2-methylbutanoate

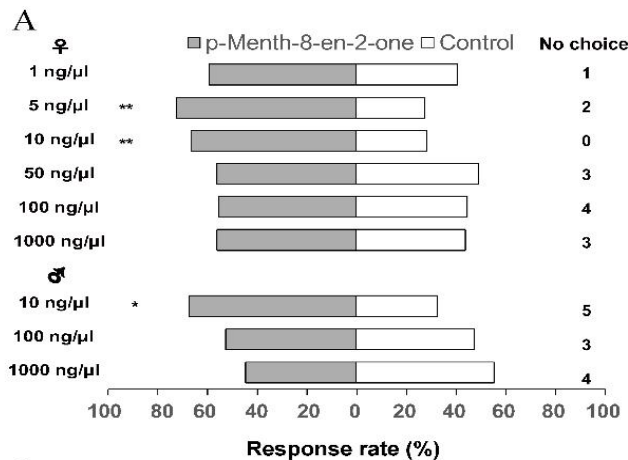
➤ 蓟马的行为验证



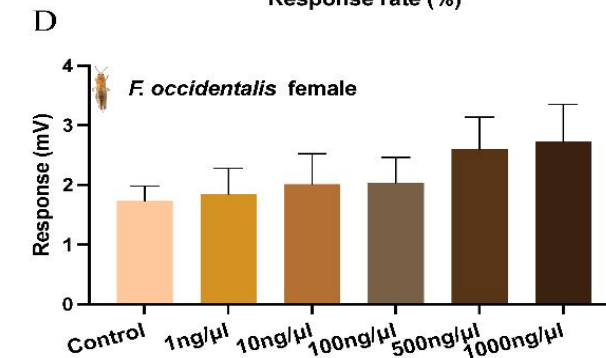
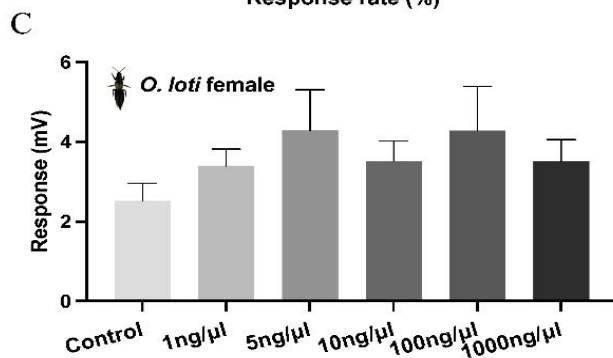
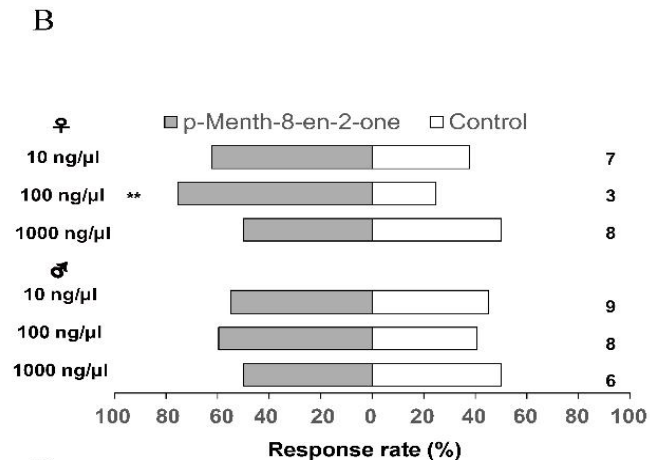
苜蓿虫害防治技术-进展及展望

有行为反应的蓟马种类

牛角花齿蓟马



西花蓟马

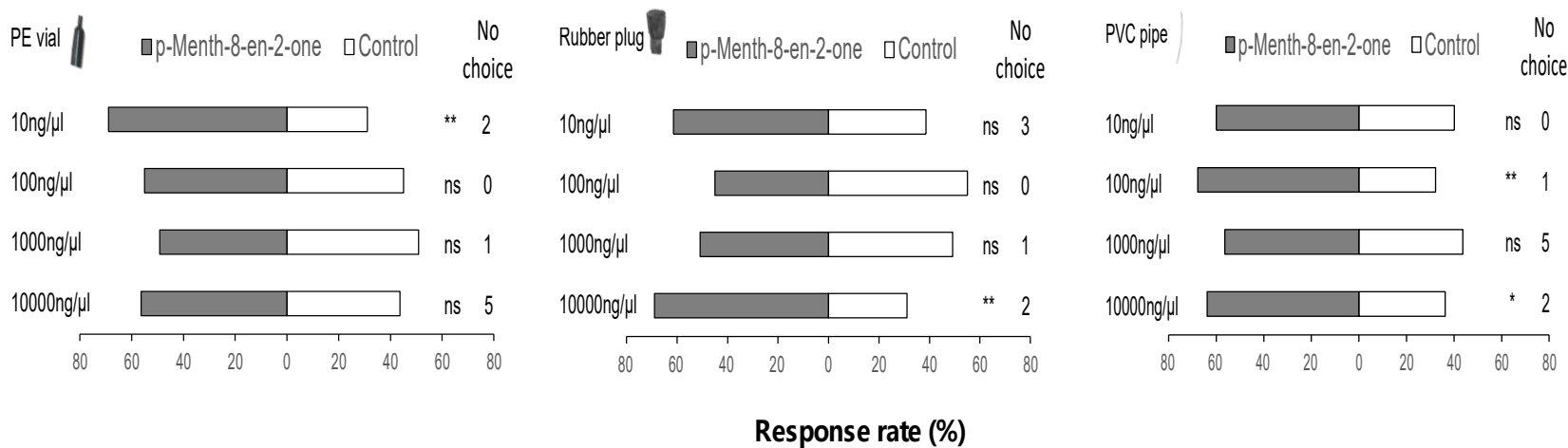


苜蓿虫害防治技术-进展及展望

蓟马的行为验证-缓释材料的筛选



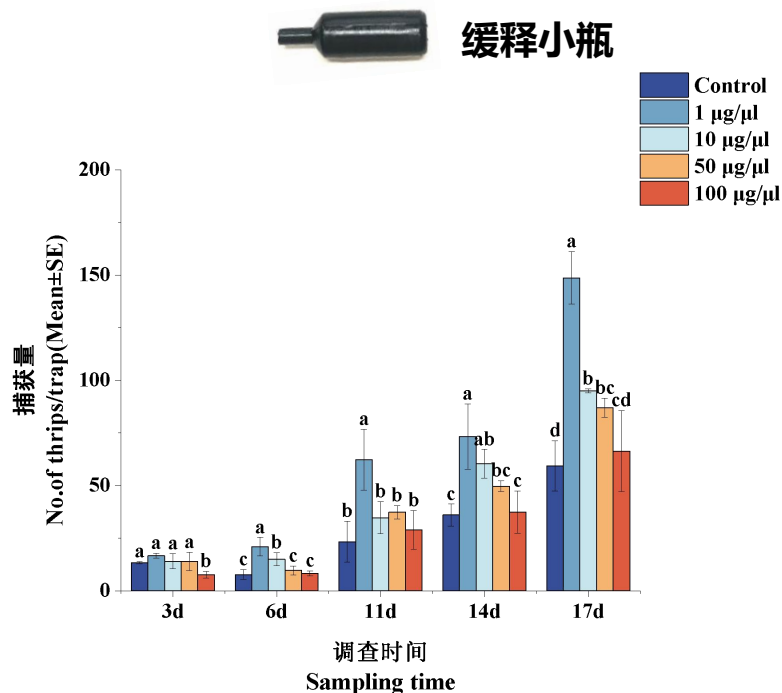
牛角花齿蓟马



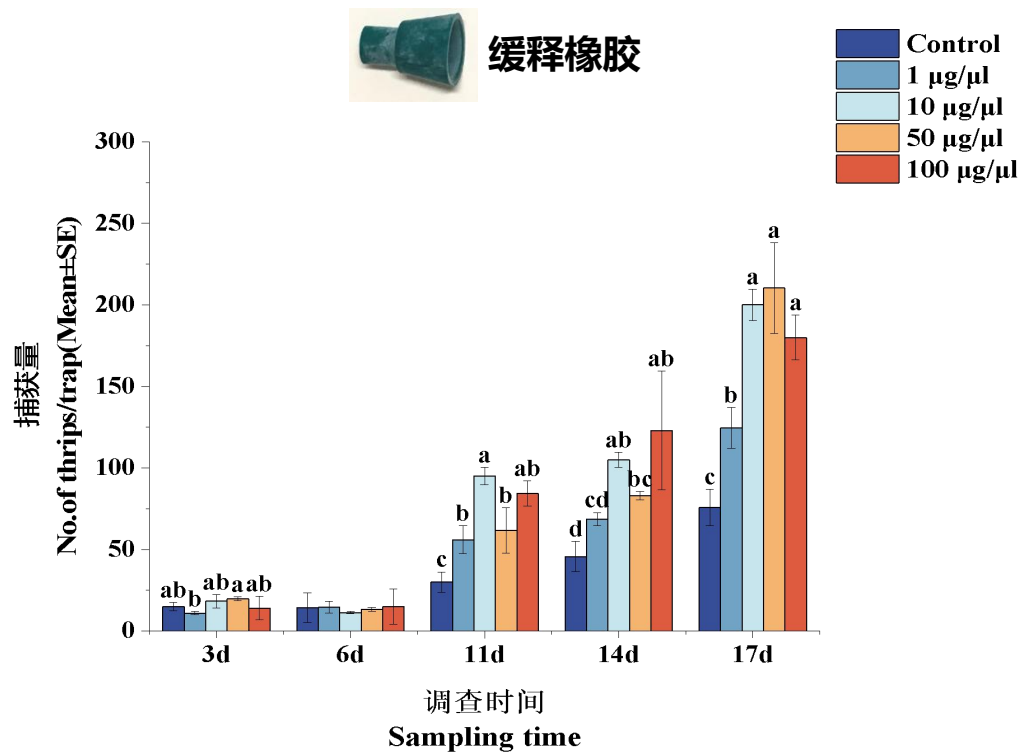
苜蓿虫害防治技术-进展及展望

蓟马的田间诱集效果-缓释材料的筛选

田间牛角花齿蓟马诱集量



田间西花蓟马诱集量



致谢

- 中国农业科学院植保所、宁夏农林科学院、新疆农业大学、甘肃农业大学
- 国家自然科学基金面上项目

