

第三章：生物入侵中的种间关系及入侵机制

李红丽

北京林业大学自然保护区学院

15001233412

外来物种到达新生境，势必与新生境及相关生物发生一定的关系，都会**发生哪些关系**呢？这些关系对其成功入侵会怎样影响？

- 对于转专业的学生如何适应新环境？如何与新同学会有**哪些关系**融入进去呢？

An orange oval button with the text "大家谈" (Everyone's Talk) in white.

大家谈

目录



已经讲过

解释成功入侵

生物交互作用



竞争作用

利用关系

互利关系等



如何影响
外来种入
侵？

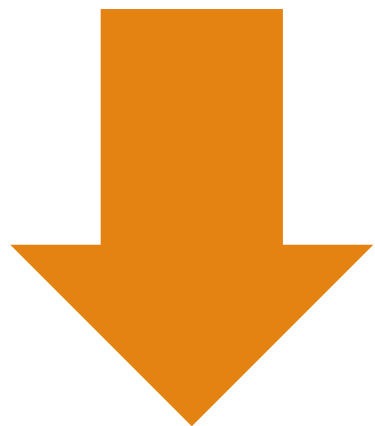
3.1 竞争

竞争什么？

植物篇



生长



抵御

资源分配

生长

资源会不会利用生长
强化，提高竞争？

入侵地，天敌
减少，抵御资
源是否降低

千屈菜

千屈菜属多年生草本，挺水植物，**原产于欧洲大陆，典型的湿地植物**，主要生长在湿地、河边、沟边和沼泽地。

园林绿化植物

入侵到美国，美国东北部发生相对较重。

厉害了，我的草



千屈菜

欧洲原
产地



美国入
侵地



生物量
美国种群高于原产地种群

抗性
对原产地天敌食根象
甲的抗性下降

提出竞争力增强假说

3.1.1 竞争力增强假说 (EICA)

天敌

在入侵地缺乏天敌，入侵种防御物质需求下降，选择压力使其对优先的生物资源进行再分配，将抵御天敌的生物资源转移到生长和繁殖中去，发生进化适应新的环境。



竞争力增强假说 (EICA)

验证

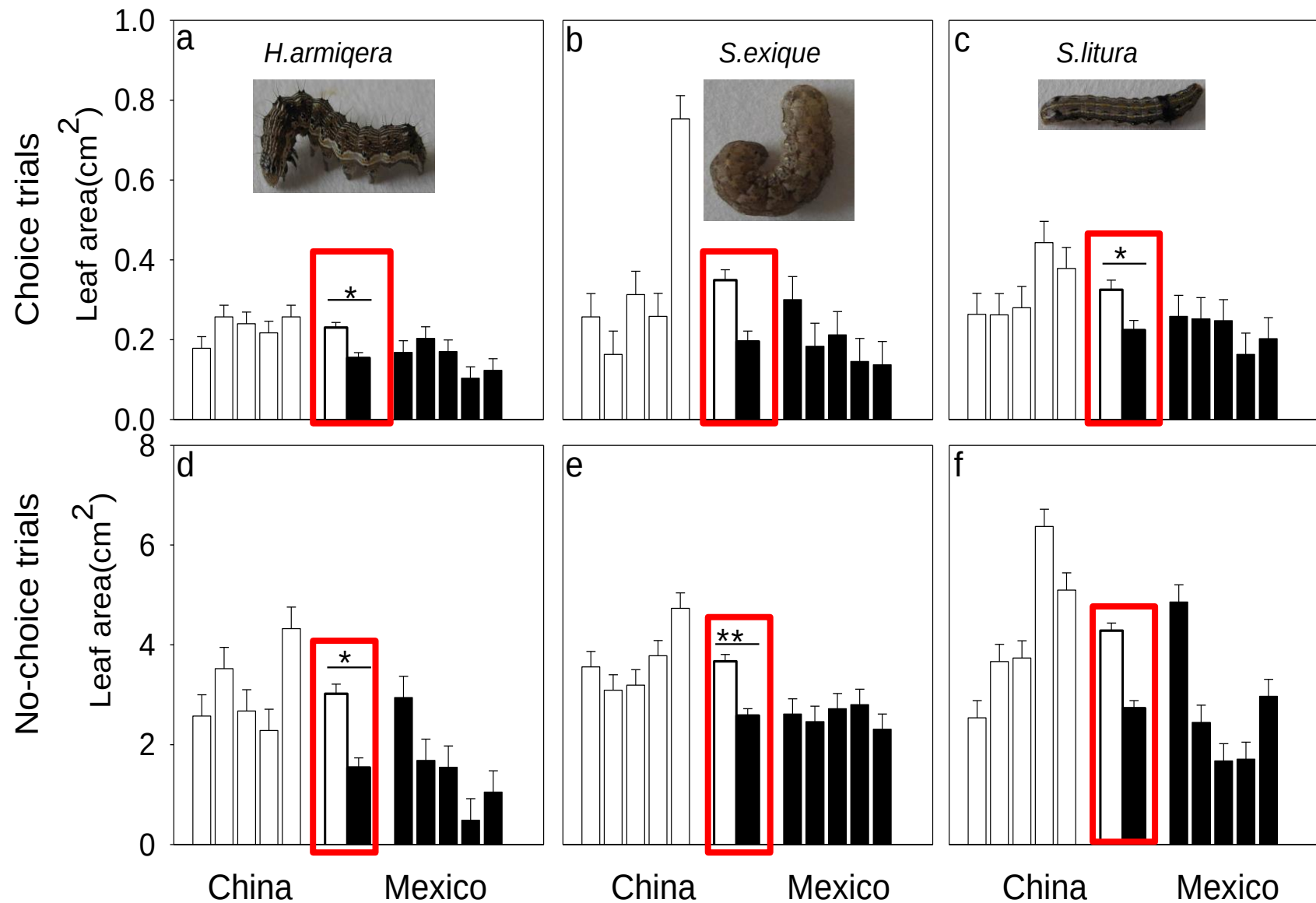
反证

QJNU同质园实验——天敌多

5个中国种群 入侵地
5个墨西哥种群 原产地

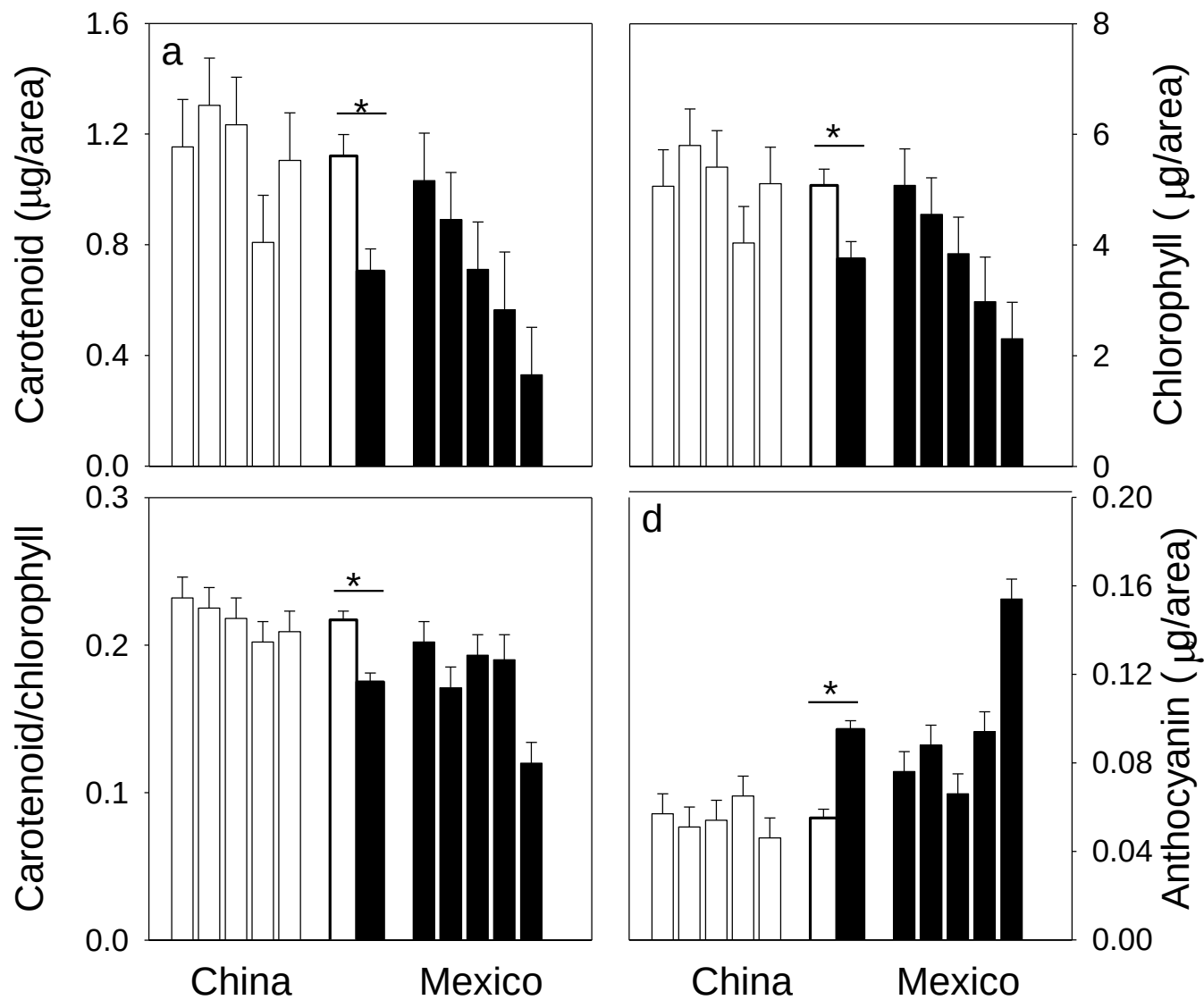
- 盆栽
- 2个氮水平，气候
- 产地间竞争
- 天敌多：专性天敌
广谱天敌





入侵地叶面积
增大

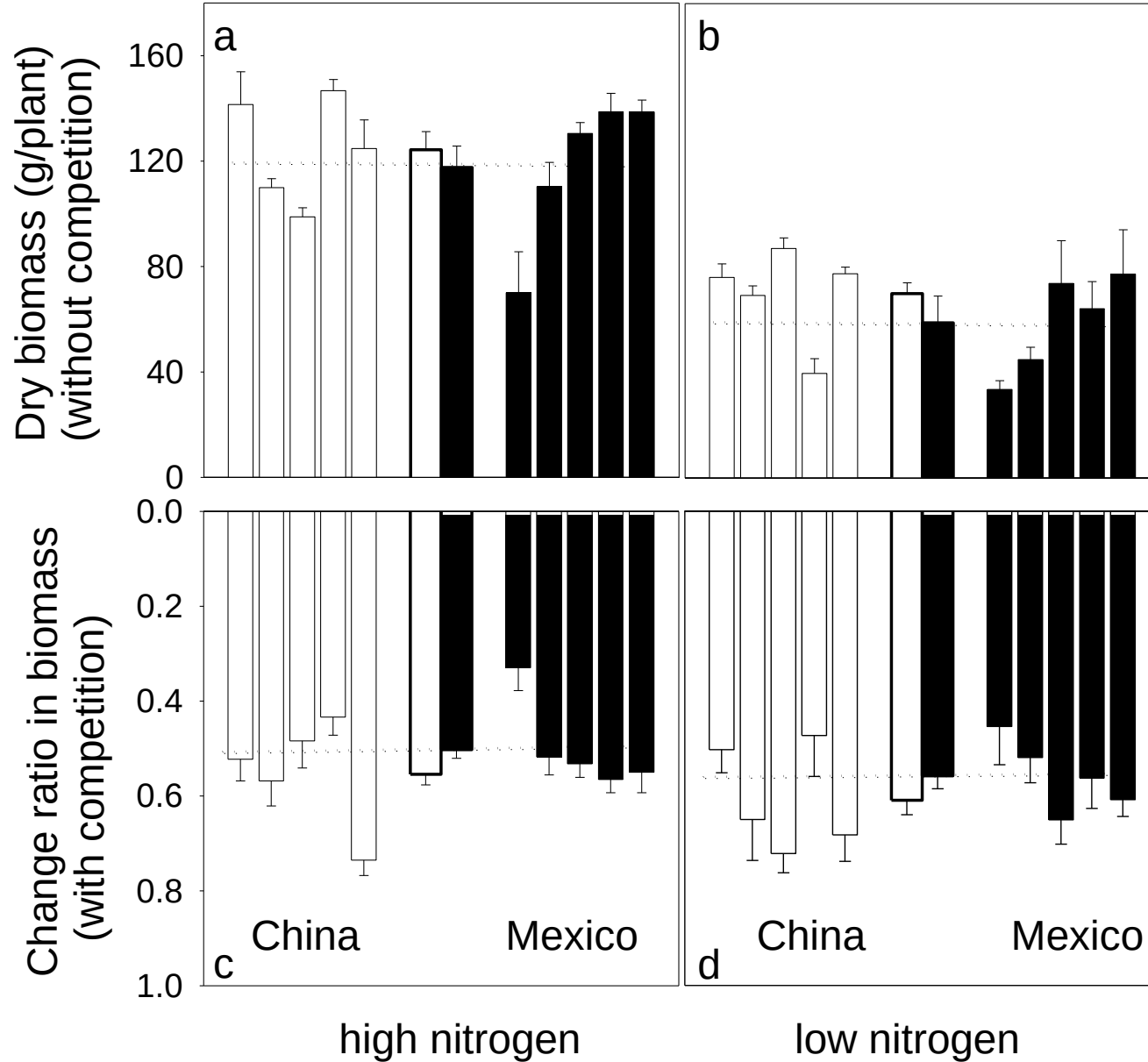
花青素



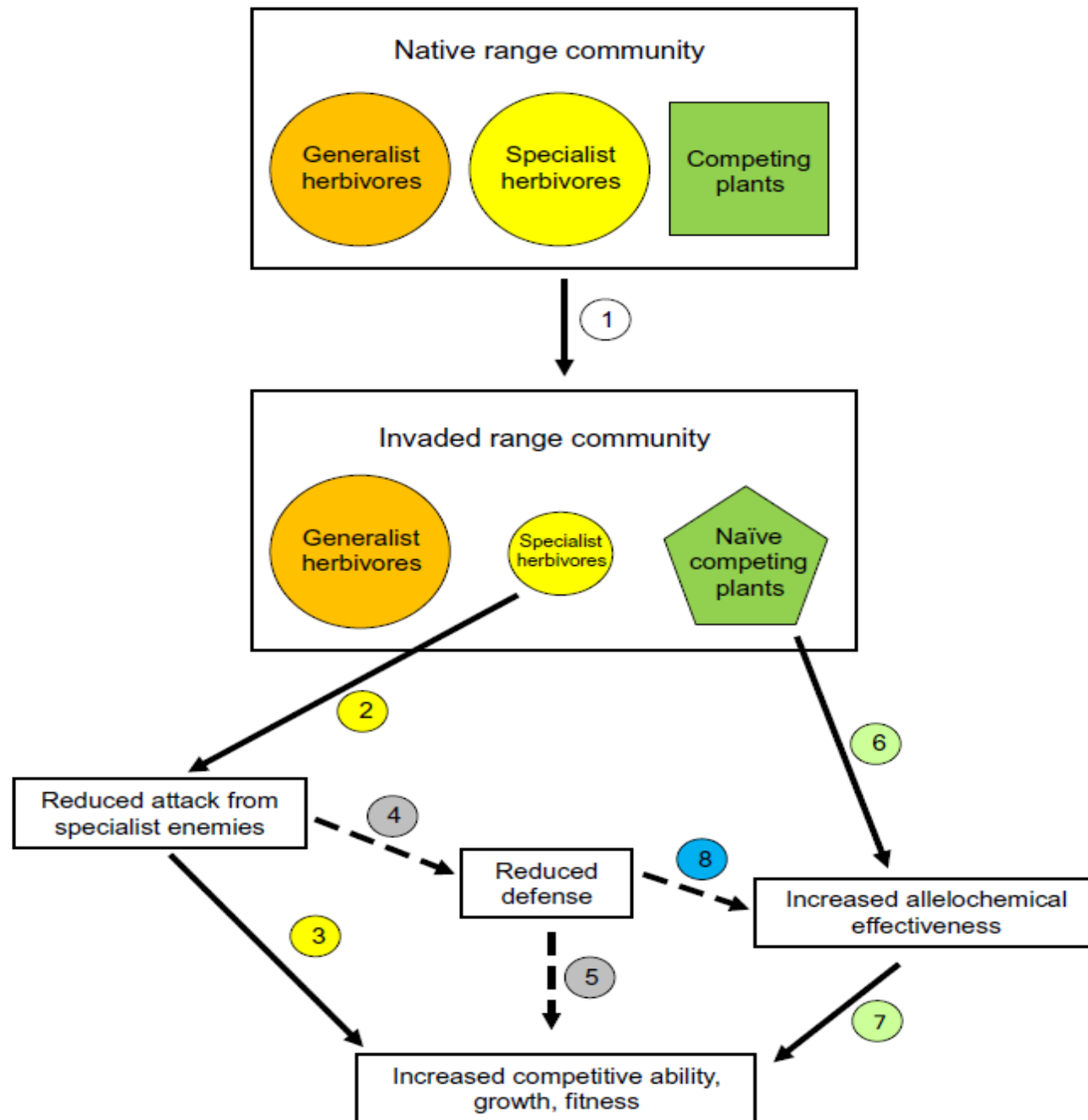
叶绿素

花青素含量降低，
叶绿素含量升高。

3.2.2 竞争能力没有提高



入侵地，根生物量对氮的响应能力增强



薇甘菊



蟛蜞菊——倍半萜内脂

-
- 入侵种群竞争地上资源的能力更强
支持器官大、光和色素含量高
 - 原产地种群竞争地下资源的能力更强
根大

资源分配发生了变化，入侵地种群竞争能力更强！

反驳观点

臭千里光 原产于欧洲，北美，澳大利亚和新西兰的种群把更多的资源分配到营养和繁殖的生物量中，防御的资源仅在防御专食性天敌，而没有在光谱性天敌上。



植物为何会出现这样的变化，有什么理论依据？

假说的理论依据

(1) 快速进化的遗传学基础

短时间内产生遗传变异，迅速利用环境中的资源，获得更大的竞争优势

(2) 生长与防御资源分配的权衡

长时间脱离专性天敌制约，用于防御天敌的资源生成在新生境中利于竞争的性状

3.2 假说的理论依据

(3) 适应性进化

传入期



定殖期



可塑性

与遗传分化能够
发生复杂的相互
作用



独立的遗传
基础



动物方面

A large orange oval shape centered on the page, containing the text "动物方面".A solid orange horizontal bar at the bottom of the page.

3.1 竞争

3.1.1 竞争类型

(1) 资源利用竞争 主要体现在对资源的**搜寻**、**抢夺**、**获取**等方面

豌豆蚜



斯氏蚜茧蜂

无网长管蚜茧蜂

资源搜寻
能力强

取代前
者

3.1 竞争

3.1.1 竞争类型

(1) 资源利用竞争 入侵者能较早地抢夺、获取到资源；

当一个物种获取充足的资源而另一个物种却不能时，后者可能会被取代。

3.1 竞争

3.1.1 竞争类型

(2) 相互干涉竞争 格斗干涉和生殖干涉;

动物相对较多，食物
资源，地点、活动领
域和产卵地点

3.1 竞争

3.1.1 竞争类型

(2) 相互干涉竞争 格斗干涉和生殖干涉；



动物相对较多，异色瓢虫为全球最具入侵性瓢虫，发生量大，竞争力强于当地瓢虫，甚至还会捕食和取代后者，可携带导致其它昆虫死亡的病菌；

3.1 竞争

3.1.1 竞争类型

(3) 表观竞争;



3.1 竞争

美国加利福尼亚州本地的西部葡萄斑叶蝉与外来种杂色斑叶蝉



婴小蜂寄生，前者更容易被寄生，
导致后者种群的建立

3.2 互利关系



3.2 互利关系

3.2.1 外来植物和本地互利者

与本土动物的关系
与本土植物的关系
植物根系与菌根真菌
植物根系与固氮细菌
互利共生在生物入侵
种的作用

3.2.2 外来种之间的互利——入侵融化假说

3.2.1 外来植物和本地互利者

互利者促进作用假说（Mutualist Facilitation Hypothesis）认为，入侵地的本地互利者替代了原生地缺失的互利者，是外来种群建立和传播的关键。

作用类型：

➤ 动物作为授粉媒介



黄花刺茄及其传粉昆虫

3.2.1 外来植物和本地互利者

➤ 动物传播种子

许多著名的入侵植物的种子是通过本地动物（主要是鸟类和哺乳动物）传播的。



图1 果实被鸟类取食的美洲商陆果序



图2 白头鹎鸟粪中的美洲商陆种子

3.2.1 外来植物和本地互利者

类型：分为专性互利共生和兼性互利共生

专性互
利共生

，两种生物永久性成对组合，若离开对方，双方或其中一方不能独立生活，甚至死亡。

3.2.1 外来植物和本地互利者

无花果是在囊状花托内部开花。众所周知，花需要授粉以便繁殖，但由于无花果的花藏于内部，意味着它的传粉动物即黄蜂，需要直接爬进无花果给花授粉。无花果和黄蜂彼此依赖对方完成繁殖。



3.2.1 外来植物和本地互利者

雌黄蜂从无花果顶部的孔内钻进无花果产卵，然后在无花果内死去。黄蜂卵中雄性黄蜂首先孵化，然后从无花果中飞出，寻找有雌性黄蜂的无花果进入，并与之交配，然后死去。雌性黄蜂携带受精卵和花粉飞走，开始新的循环，为其他无花果授粉。

3.2.1 外来植物和本地互利者

60种无花果
引进美国弗
罗里达

本地无花果
和两种与其
共生的无花
果黄蜂

这两种黄蜂
并不能在外
来无花果上
繁殖

外来的无花果
引进到佛罗里
达数十年都不
能成功繁殖。

3.2.1 外来植物和本地互利者

兼性互利共生

- 对双方的依赖程度较小，仅是机会性或非专性的互利共生，大多数是属于这方面的。

大多数外来植物传入后，不会因缺乏种子的扩散而被限制在最初的种群建立阶段。种子可以借助土著种扩散，还可以借组外来动物进行扩散。

3.2.1 外来植物和本地互利者

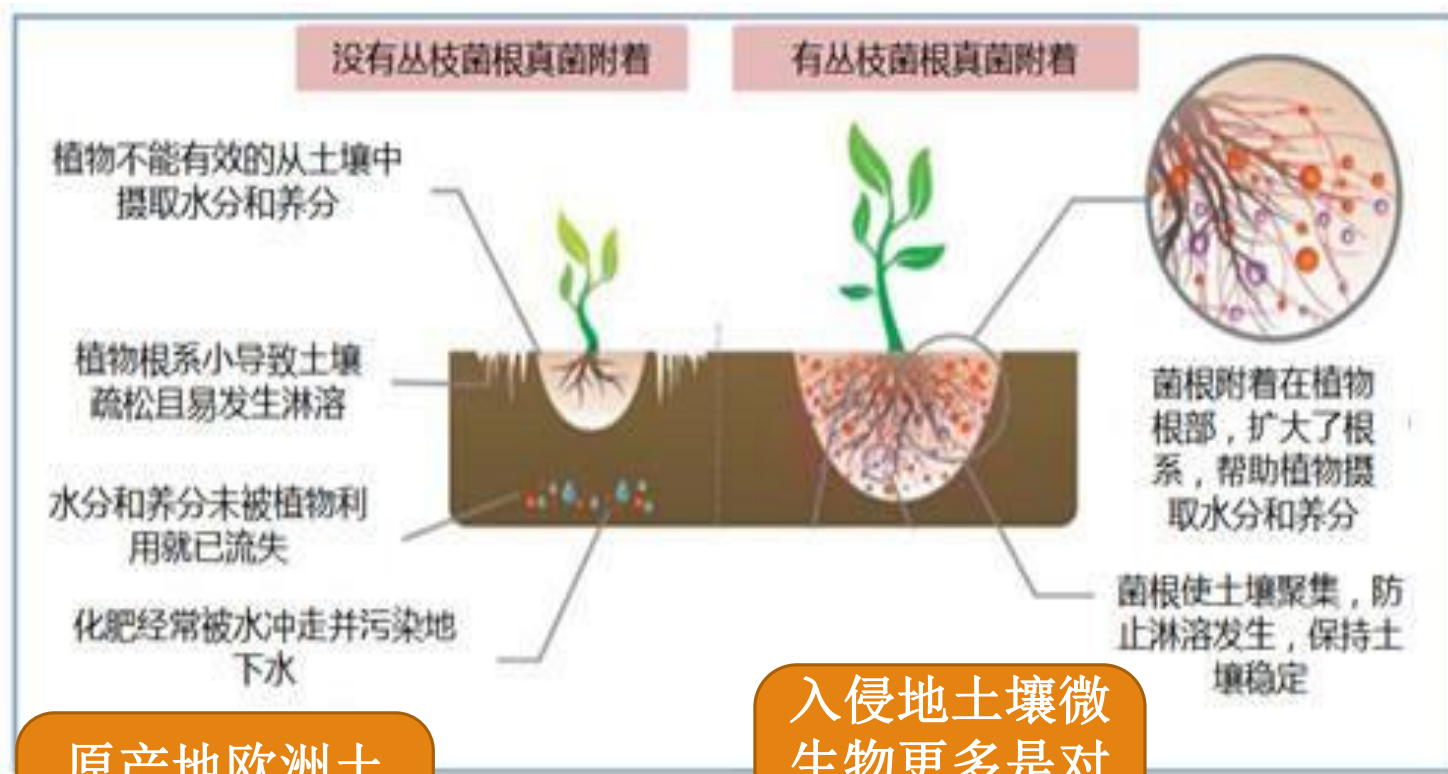
日本红松 可由当地的松鼠进行传播



矢车菊

3.2.1 外来植物和本地互利者

➤ 植物根系与菌根真菌



原产地欧洲土壤微生物对其有抑制作用

入侵地土壤微生物更多是对其生长发挥促进作用

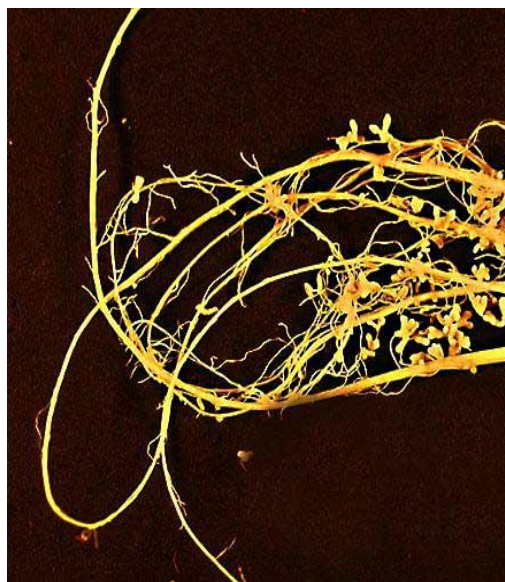


3.2.1 外来植物和本地互利者

➤ 植物和固氮细菌的共生体



紫茎泽兰



形成根瘤



互利共生在生物入侵种的作用

1. 对入侵种种群建立的影响

外来植物为例，在种群建立阶段，他们十分需要互利共生的对象来克服新环境中的不利因素。

3.2.2 互利共生在生物入侵种的作用

2. 对入侵种种群扩张的影响

入侵种与土著种或其他外来种形成的互利共生关系，能够加快外来种的扩张。

传粉昆虫与植物的互利共生可以促进入侵植物的种群扩张

3.2.2 互利共生在生物入侵种的作用



入侵杂草彭士杜鹃
在大不列颠岛危害
严重，主要通过种
子进行扩张。

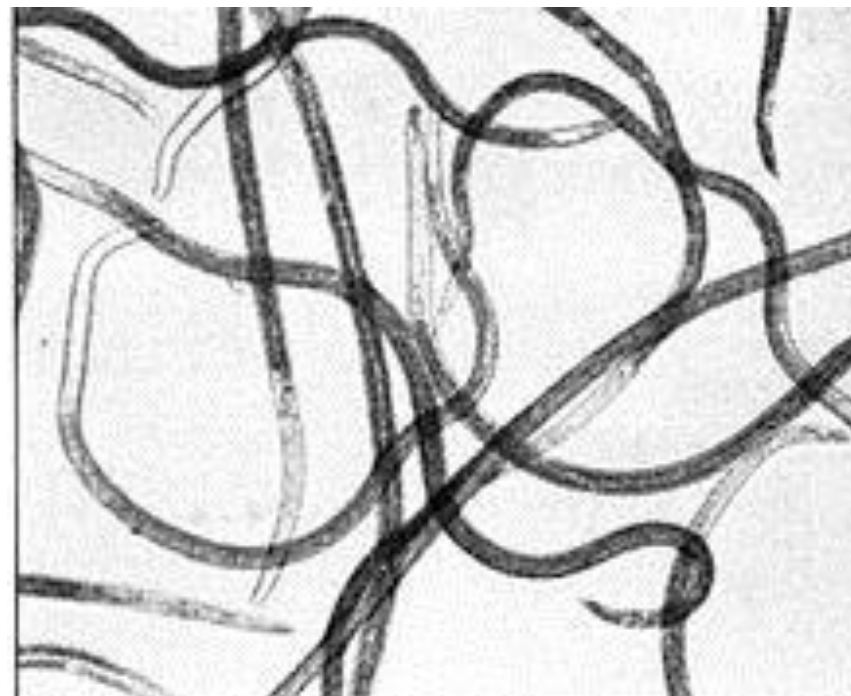
种子形成远源杂交。

3.2.2 互利共生在生物入侵种的作用

松材线虫是我国危害较大的外来入侵物种之一

伴生蓝变菌能够提高入侵种松材线虫的后代数量

被松材线虫感染后的[松树](#)，针叶黄褐色或红褐色、萎蔫下垂，树脂分泌停止，在树干上可观察到天牛侵入孔或产卵痕迹，病树整株干枯死亡，木材蓝变。严重威胁用材林。



3.2.2 外来种之间的互利——入侵融化假说



3.2.2 外来种之间的互利——入侵融化假说



细足捷蚁

入侵地区热带雨林生态系统发生了灾难性变化，外来蚂蚁+甲虫=新的联合体
→加速影响

3.2.2 外来种之间的互利——入侵融化假说

入侵融化（Invasional Melton）假说指的是，一群外来种通过各种方法相互推动各自的入侵，增加了生存和/或生态影响的可能性，甚至增大影响的量级。

互作方式：

- ✓ 动物帮助植物授粉和传播（同时取得食物）
- ✓ 动物改变其生境，从而利于其他外来种战胜本地种
- ✓ 植物改变生境，从而利于其他外来种战胜本地种
- ✓ 间接作用，包括增加N可获得性、土壤盐分和火频率

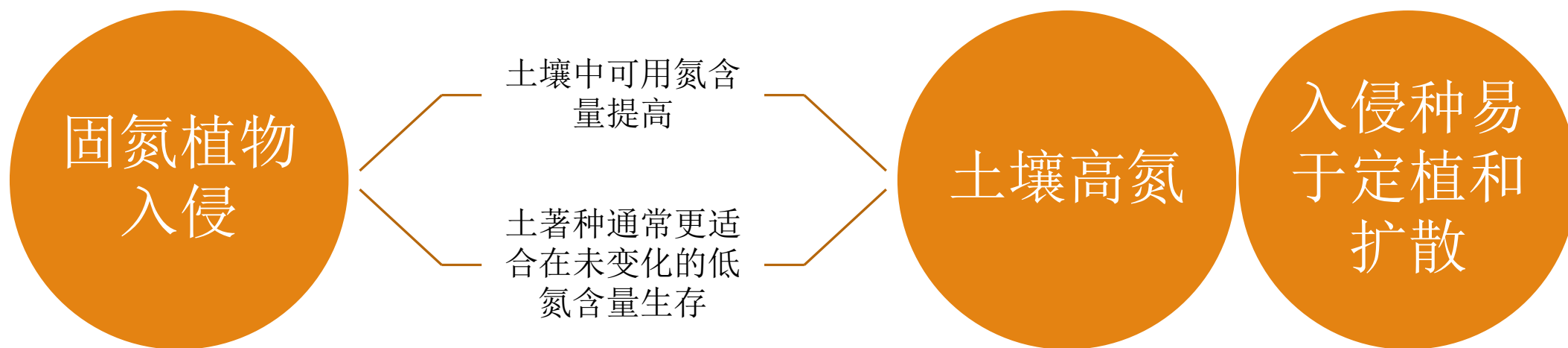
3.2.2 外来种之间的互利——入侵融化假说

植物作为生产者能够改变入侵地土壤微生物的群落结构、理化性质，以及入侵地的微观环境及食草动物的种群动态，在抑制土著种的同时，促进其他外来植物的入侵。



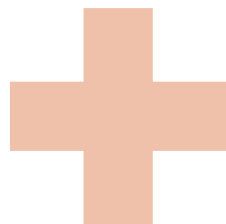
外来植物入侵，被固氮
植物入侵，有利于其它
植物入侵

3.2.2 外来种之间的互利——入侵融化假说



3.2.2 外来种之间的互利——入侵融化假说

入侵植物火
棘存在时



入侵当地植
物女贞种群
密度提高4倍



女贞喜阴，
而火棘可以
为其提供良
好的遮阳效
果



新武器的故事

13 世纪蒙古人的骑射技术

蒙古人征服了东欧、中欧多个国家，战无不胜，势如破竹，秘诀之一就是使用了一种“新式武器反曲弓”



对于植物入侵是不是有什么新式武器，而促进其入侵呢？



3.3 入侵植物的化感作用

他感作用（allelopathy）是指植物（微生物）通过释放化学物质到环境中而产生对其他植物直接或间接的有害或有益的作用。

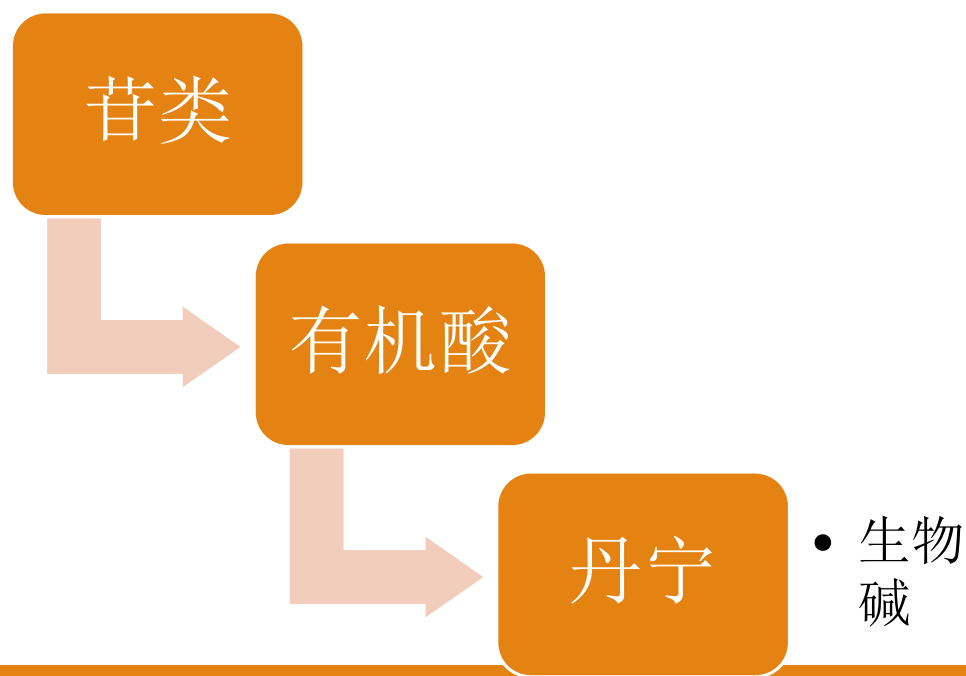
化感物质来实现

植物次生物质中能够自然释放到植物体外

经自然媒体传输后对它自身或伴生植物产生影响的物质

3.3 入侵植物的化感作用

化感物质（Allelochemical）是生物体内产生的非营养性物质，能影响其他植物生长、健康、行为或群体关系，化感物质是化感作用的媒介，主要是植物的次生代谢物质。



外来入侵植物是否产生了新的化学物质，能够促进入侵呢？

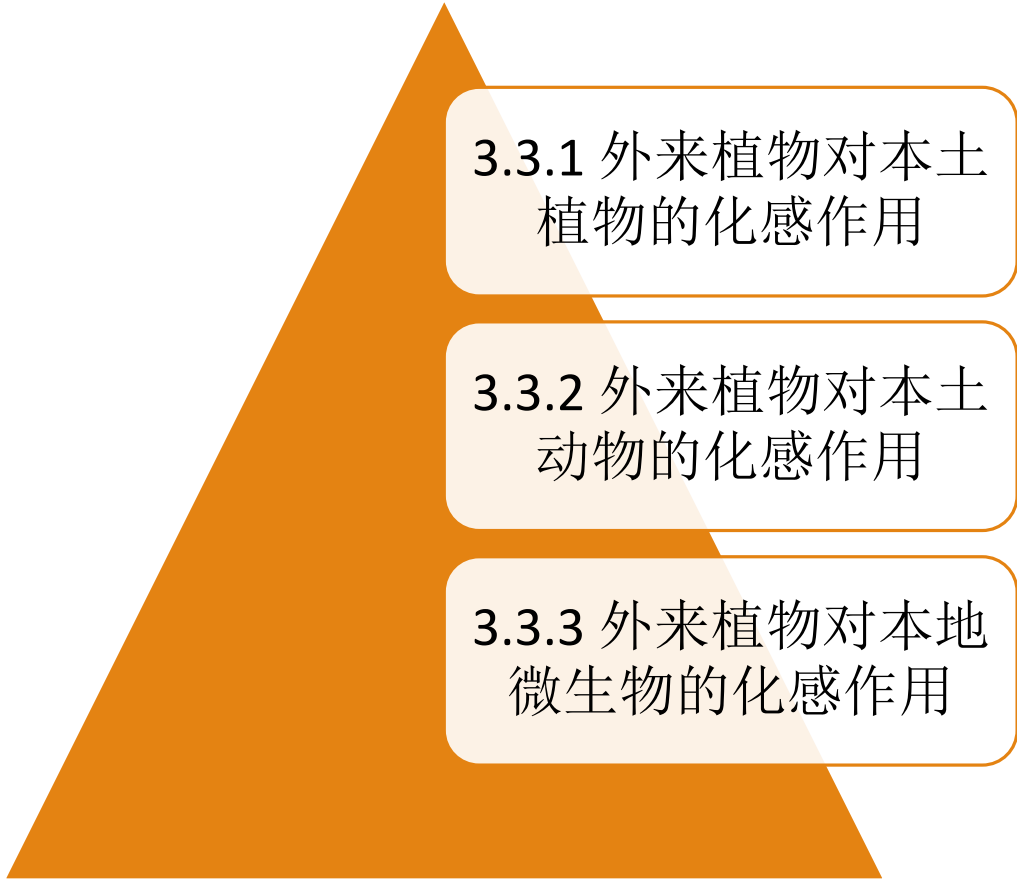
3.3 入侵植物的化感作用



新武器假说

外来植物成功入侵的一个重要原因是他们能通过分泌化感物质抑制本地植物群落，由于存在非协同进化关系，本地植物对这些化感物质不能短期内达到适应。

3.3 入侵植物的化感作用



3.3.1 外来植物对本土植物的化感作用

3.3.2 外来植物对本土动物的化感作用

3.3.3 外来植物对本地微生物的化感作用

3.3.1 入侵植物对本土植物的化感作用

豚草(*Ambrosia artemisiifolia* L.)

一年生草本；茎直立，上部有圆锥状分枝，有棱，被疏生密糙毛。花期8-9月，果期9-10月。

原产北美洲，1935年发现于中国杭州，分布于东北、华北、华中和华东等地约15个省、直辖市。恶性杂草，对禾木科、菊科等植物有抑制、排斥作用。列入**中国外来入侵物种名单**（第一批）。



3.3.1 入侵植物对本土植物的化感作用

三裂叶豚草入侵麦田的化感干涉机制主要是通过残株在土壤生物和非生物因子作用下

释放**二萜化感物质**而对**下茬作物显示化感抑制效应**,因此及时清除耕作地中的三裂叶豚草残株是减少其对作物危害的必要措施

在麦田中经常焚烧现象

燃烧和未燃烧的豚草的化感作用

3.3.1 入侵植物对本土植物的化感作用

方案1: 对种子萌发的影响

A: 植株粉碎处理后作为未燃烧残留物

B: 植株进行燃烧处理,得到的灰分作为燃烧残留物

提取浸提液;

将4 g 残留物浸泡在100 ml 蒸馏水中,

将原液进行稀释成不同的浓度

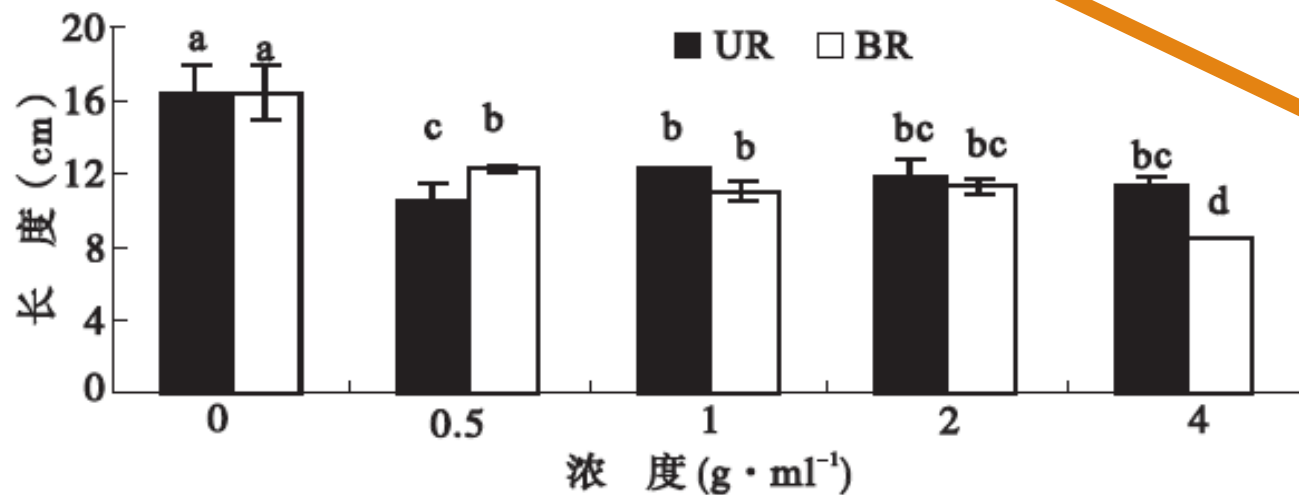
3.3.1 入侵植物对本土植物的化感作用

15 粒小麦种子放在直径为15 cm 的铺有双层滤纸的培养皿中,滤纸上滴加7 ml 提取物的水溶液,
以蒸馏水作为对照。

每种处理3 次重复。

所得浓度分别为0.5、1.0、2.0和4.0% (W/ V)

3.3.1 入侵植物对本土植物的化感作用



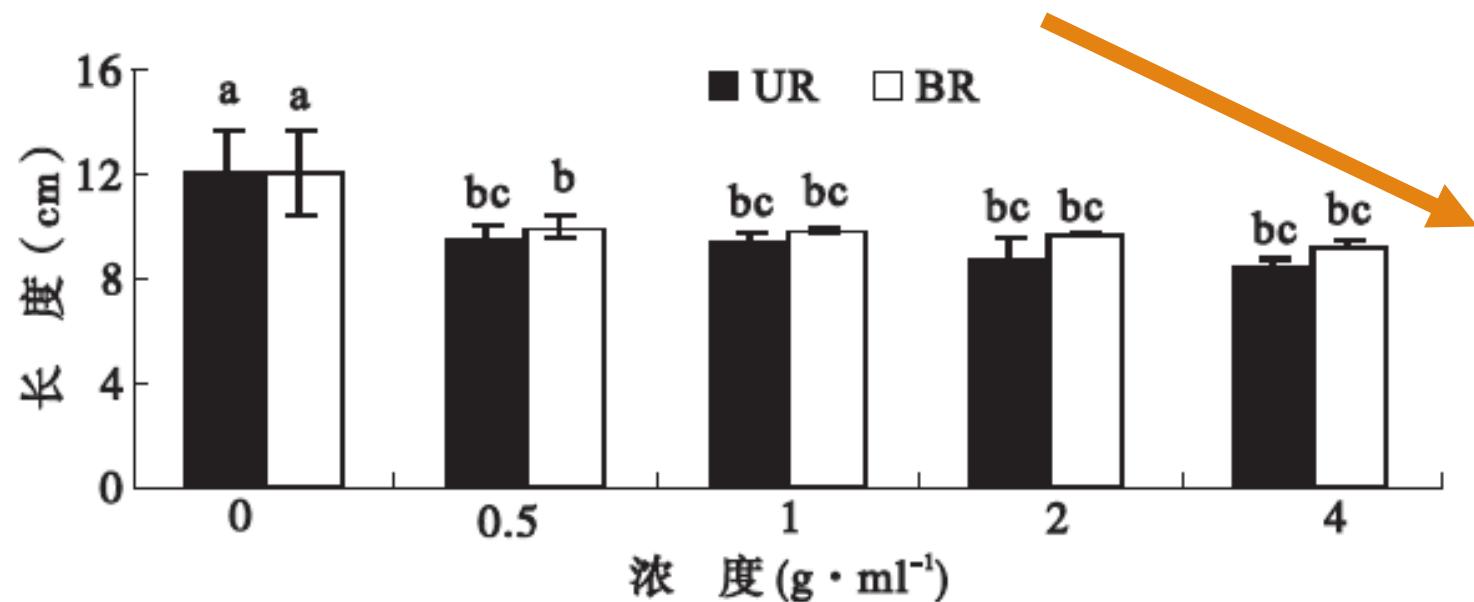
浸提液均抑制了小麦幼苗根的伸长

图1 不同浓度的未燃烧和燃烧的豚草残留物浸提液对小麦幼苗根长的影响

Fig. 1 Effect of different concentrations of extracts prepared from UR and BR of *Ambrosia artemisiifolia* on root length of wheat

UR 代表未燃烧处理;BR 代表燃烧处理浓度,下同。

3.3.1 入侵植物对本土植物的化感作用



浸提液均抑制了小麦幼苗苗长的影响

图2 不同浓度的未燃烧和燃烧的豚草残留物浸提液对小麦幼苗苗长的影响

Fig. 2 Effect of different concentrations of extracts prepared from UR and BR of *Ambrosia artemisiifolia* on shoot length of wheat

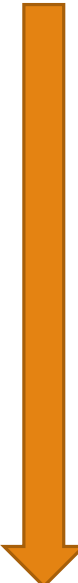
3.3.1 入侵植物的化感作用

pH 值、电导率及酚酸随着浓度的增加而增加,

表 2 豚草的未燃烧和燃烧的残留物水提取液的 pH 值、电导率和酚酸含量

Tab.2 The pH and phenolic content in the water extracts of unburned (UR) and burned (BR) residues of *Ambrosia artemisiifolia*

浓度 (%)	残留物 类型	pH	电导率 ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$)	酚酸 ($\mu\text{g} \cdot \text{ml}^{-1}$)
0	—	7. 0±0. 23 bcd	0. 7×10 ³	—
0. 5	UR	5. 2±1. 03 e	1. 6×10 ³	15. 12±1. 02 d
	BR	7. 5±1. 21 abc	2. 4×10 ³	10. 02±1. 34 d
1	UR	5. 1±0. 98 e	2. 2×10 ³	27. 34±2. 36 c
	BR	8. 0±1. 12 ab	2. 8×10 ³	16. 35±2. 31 d
2	UR	5. 7±0. 68 de	2. 4×10 ³	52. 03±6. 23 b
	BR	8. 1±0. 80 ab	2. 9×10 ³	26. 12±2. 13 c
4	UR	6. 0±1. 05 cde	2. 6×10 ³	78. 29±5. 26 a
	BR	9. 0±2. 15 a	3. 0×10 ³	46. 32±4. 12 b



3.3.1 入侵植物对本土植物的化感作用

方案2：与土壤
混合对种子萌
发的影响

分别用0.5、1.0、2.0、和3.0 g 未燃烧和燃烧的豚草残留物和100 g 土壤混合,并加100 ml 蒸馏水,室温下保存18 h。

以未加豚草残留物的100 g 土样作为对照。

然后从每个土壤样品中取50 g,放入直径为5 cm 的培养皿中,每个培养皿中放入15 粒小麦种子,

3.3.1 入侵植物对本土植物的化感作用

表1 在含燃烧和未燃烧豚草残留物的土壤中的小麦的生长情况

Tab.1 Growth of wheat in soil amended with water extracts of unburned (UR) and burned (BR) residues of *Ambrosia artemisiifolia*

残留物 (g · 100g ⁻¹ 土壤)	残留物 类 型	苗 长 (cm)	根 长 (cm)
0	—	6. 69±1. 25 ab	10. 22±2. 65 ab
0. 5	UR	6. 41±1. 02 ab	9. 01±2. 56 abc
	BR	6. 64±1. 35 a	10. 13±3. 10 a
1. 0	UR	5. 98±1. 01 abc	7. 83±2. 01 cd
	BR	5. 31±0. 98 abcd	7. 91±1. 65 bcd
2. 0	UR	5. 85±1. 24 abc	6. 53±1. 48 de
	BR	4. 72±1. 11 cd	6. 59±2. 58 de
3. 0	UR	5. 30±1. 24 bcd	5. 88±1. 68 de
	BR	4. 33±1. 06 d	5. 01±1. 22 e

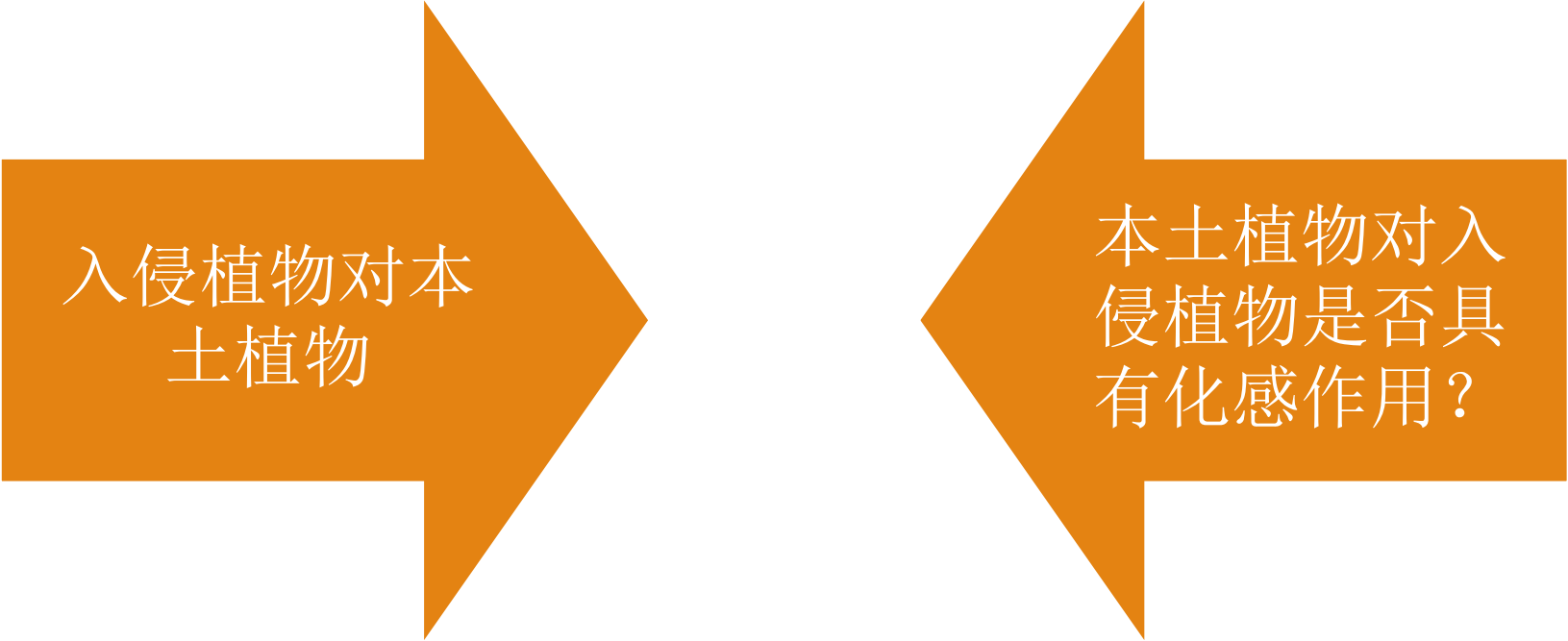
显著水平为 5% ,UR 为未燃烧残留物,BR 为燃烧后的残留物。

土壤中豚草残留物对小麦幼苗的生长有一定的抑制作用,且随着土壤中残留物浓度的增加抑制作用逐渐增强。

3.3.1 入侵植物对本土植物的化感作用

豚草残留物对小麦生长的影响可能是其向土壤释放了水溶性的化感物质(如酚酸),在自然条件下这些化感物质可能对小麦的生长造成影响。

3.3.1 入侵植物对本土植物的化感作用



入侵植物对本
土植物

本土植物对入
侵植物是否具
有化感作用？

3.3.1 本土入侵植物对植物的化感作用

一种芦苇化感物质生产方法及其在控制互花米草中的应用

利用芦苇的化感物质有效的抑制互花米草群落内特有的益生微生物种群，

能够降低互花米草种子发芽率，

对互花米草幼苗的生长也有显著的抑制作用。



3.3.2 入侵植物对本土动物的化感作用

许多外来植物能产生一些次生代谢物能使植物体有毒或味道很差来一致植食性动物的取食，甚至时某些昆虫拒食死亡。

马缨丹，原产热带美洲，在印度的大多数地区和亚洲地区扩张蔓延，能释放多种化合物，抑制本地植物的生长。



3.3.2 入侵植物对本土动物的化感作用



叶片中含有毒素四环三萜A和B，

体重18kg的动物食用400g左右的马缨丹叶片在14天内中毒

3.3.2 入侵植物对本土动物的化感作用



抑制昆虫取食
对多种害虫有
忌避作用

对黄曲跳甲有
忌避作用

对柑橘潜叶蛾
成虫产卵有明
显的干扰作用

3.3.3 入侵植物对本土微生物的化感作用

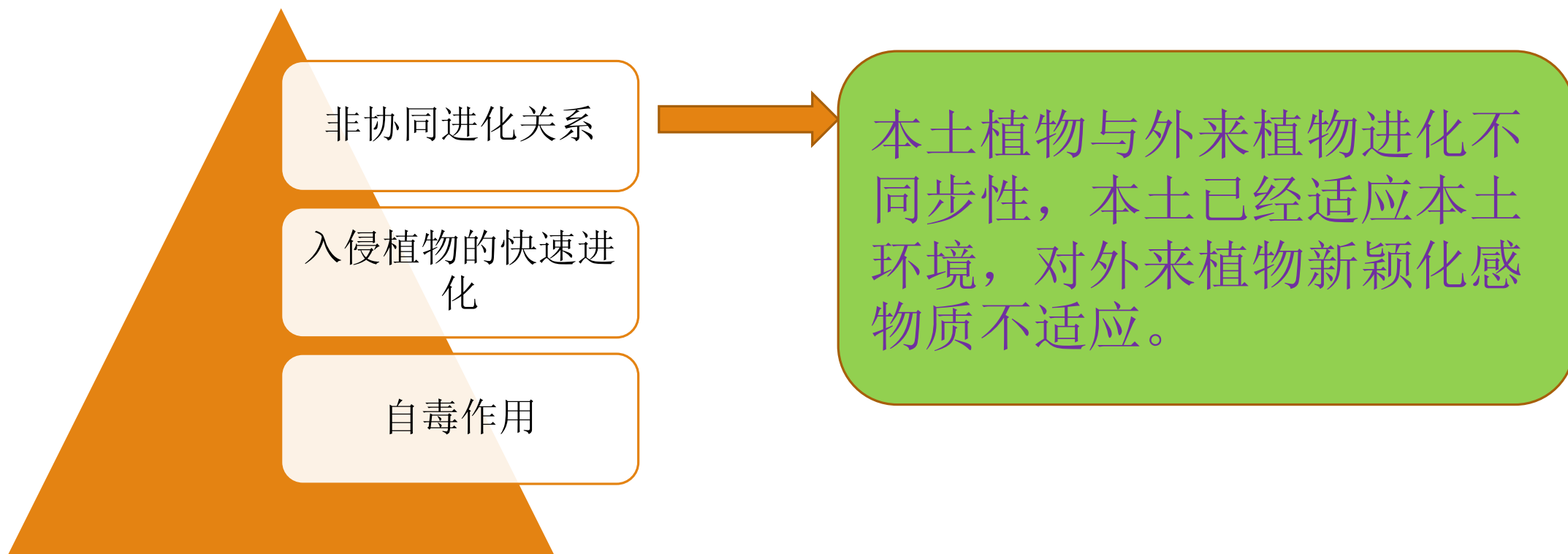
入侵植物分泌的一些次生代谢物和生物活性蛋白能够保护植物抵御病原菌的侵蚀，使自己取得防御优势而成功入侵。

斑点矢车菊根部分泌化学物质对根部病原菌具有抗菌活性；

紫茎泽兰根系和茎叶浸提液能显著 改变土壤微生物群落，且能促进根际细菌的生长，随着浸提液浓度的增加，促进作用逐渐增强。

3.3.4 入侵植物化感作用的理论依据

外来入侵植物对本地植物而言是新颖的、有毒害的



3.4 空余生态位假说 (Vacant niche hypothesis)

3.4.1 相关概念

生态位 (ecological niche) 是指一个种群在生态系统中，在时间空间上所占据的位置及其与相关种群之间的功能关系与作用。

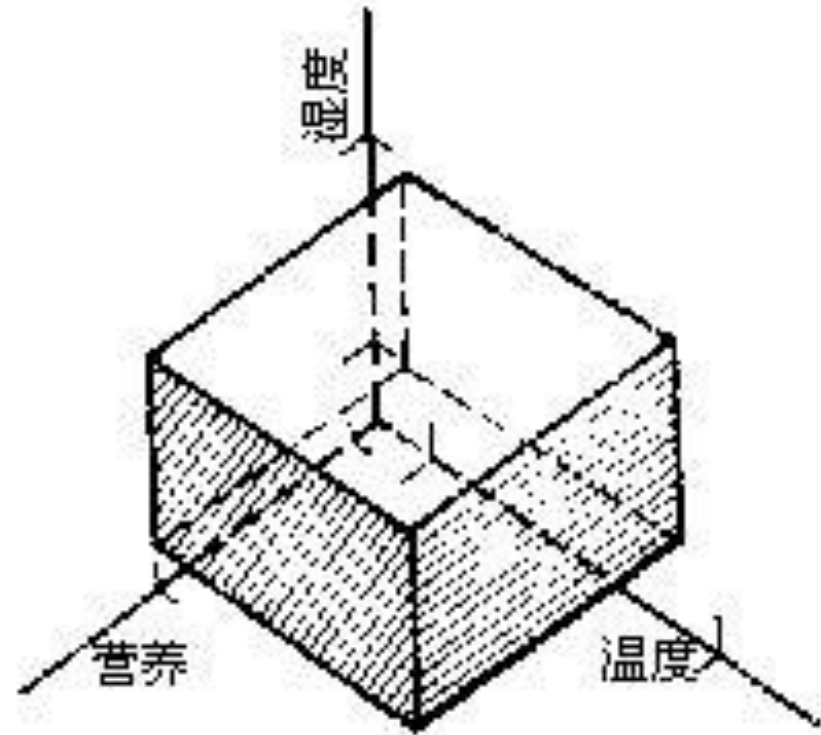


图 24-7 具有三维结构的生态位模型

如果生态系统没有空余的生态位的位置，外来种能够入侵吗？

3.4 空余生态位假说

空间生态位：被一个物种或者亚种所占据的最终分布单元，在这个最终分布单元中，每个物种的生态位因其结构和功能上的界限而得以保持，即在同一动物区系中定居的两个物种不可能具有完全相同的生态位。



功能生态位：物种在生物环境中的位置，以及与食物和天敌的关系。



营养生态位：根据营养情况划分生态位，等同于资源利用谱。



多维超体积生态位：影响有机体的环境变量作为一系列维，多维变量便是 n -维空间，称多维生态位空间。

3.4 空余生态位假说

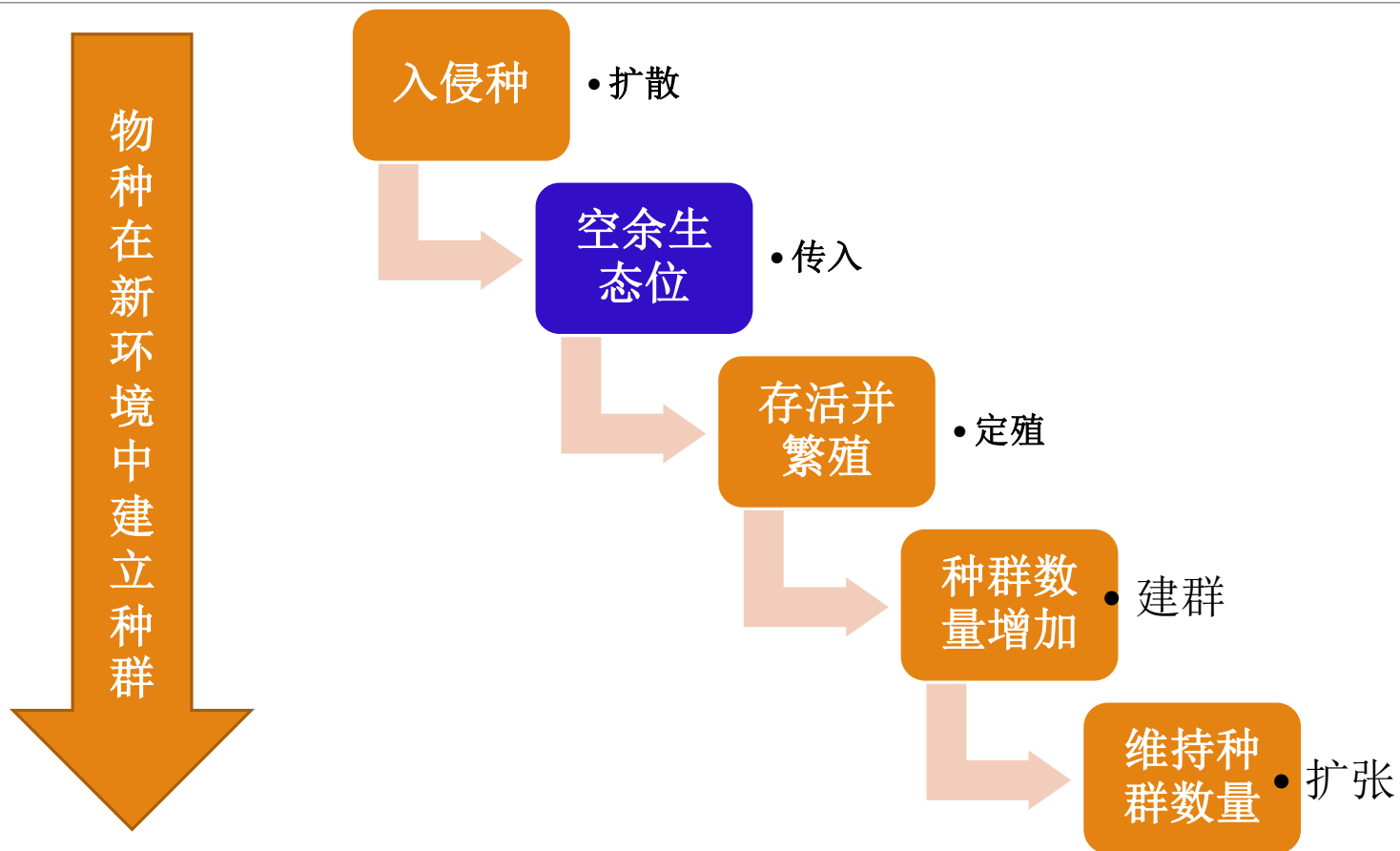


提出

认为成功入侵的原因在于外来种恰好占据了生态系统中的空余的生态位。

入侵种从传入到扩散需要经历一系列过程，主要适用于入侵的初步阶段。

3.4 空余生态位假说



3.4 空余生态位假说

3.4.3 案例

(1) 空间生态位上的空余

验证一个空间生态位是否空余，必须明确该空间生态位中至少能够潜在容纳一个物种。

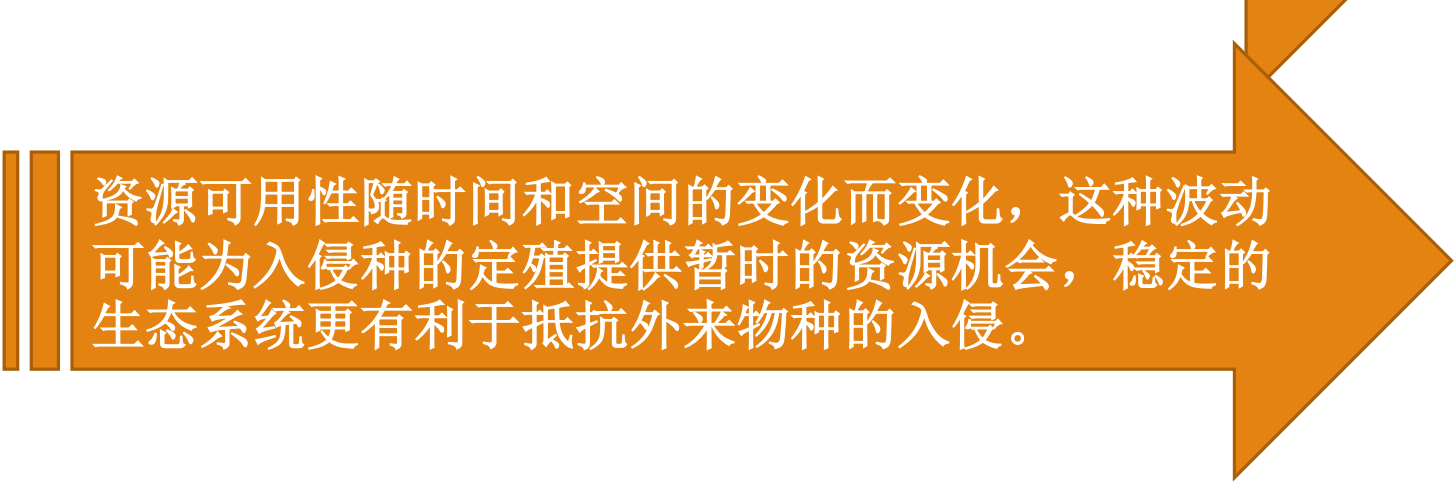
利用模型预测在海洋生态系统中有150 000个空余生态位，表明生态系统在空间生态位上确实存在空余。因此，入侵会在一些生态系统中成功入侵。

3.4 空余生态位假说

(2) 营养生态位上的空余

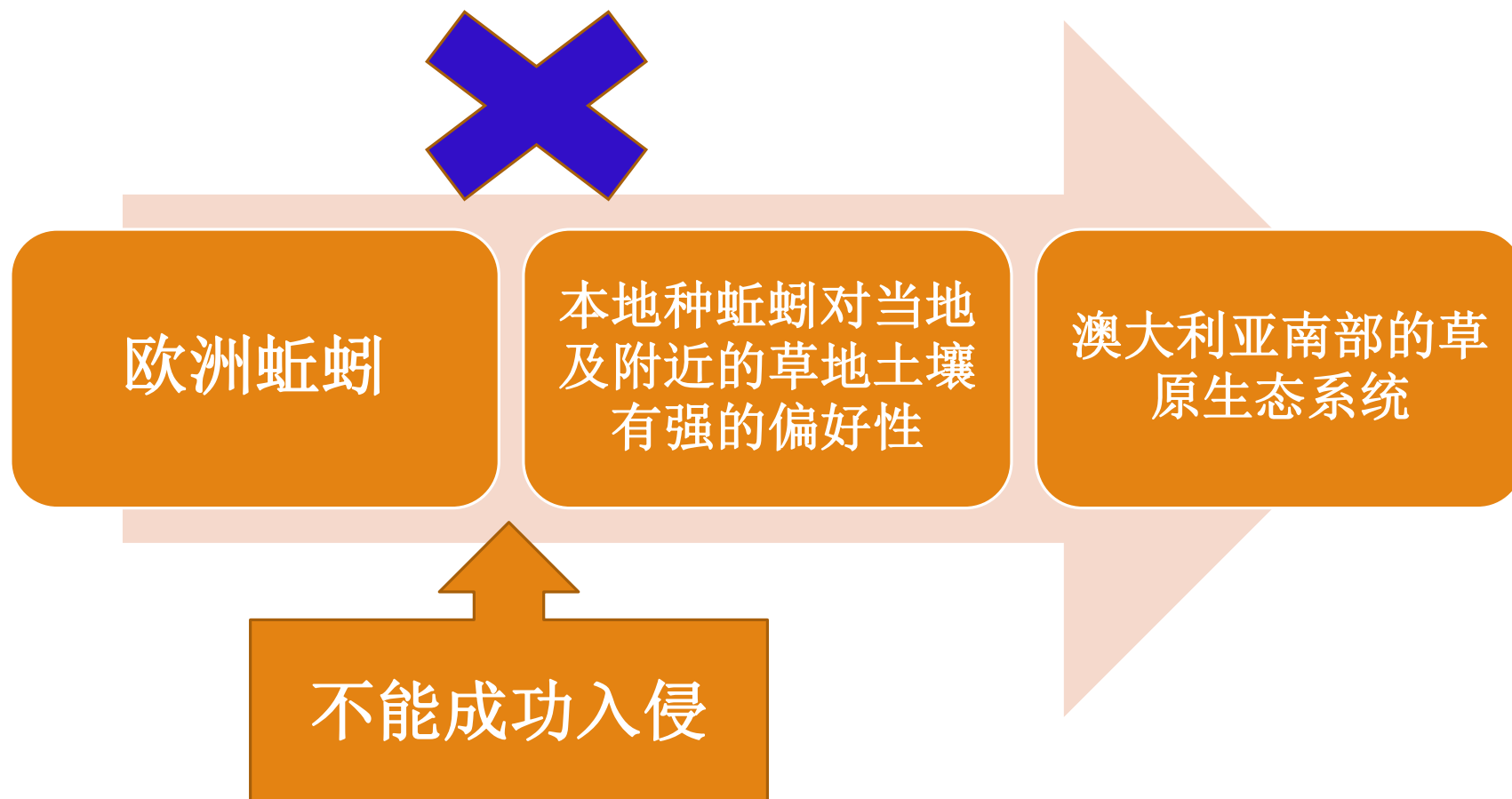


特定生境的资源，如光、水分、养分等未被完全利用时，可能在营养生态位上出现空余



资源可用性随时间和空间的变化而变化，这种波动可能为入侵种的定殖提供暂时的资源机会，稳定的生态系统更有利于抵抗外来物种的入侵。

3.4 空余生态位假说



3.4 空余生态位假说



互花米草在中国海岸带成功入侵，主要由于其耐盐的生理特性决定的。

3.4 空余生态位假说

(3) 功能生态位上的空余

本地物种**功能特点**的单一则会减弱对入侵物种的竞争力,从而出现了功能生态位上的空余

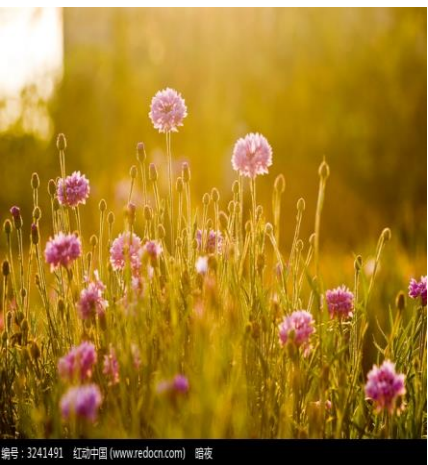


群落中存在的物种能够抑制与其功能相似的外来种入侵

3.4 空余生态位假说

本地物种能够有效地抑制与自身功能特点相似的外来种。

加利福尼亚草原。



矢车菊

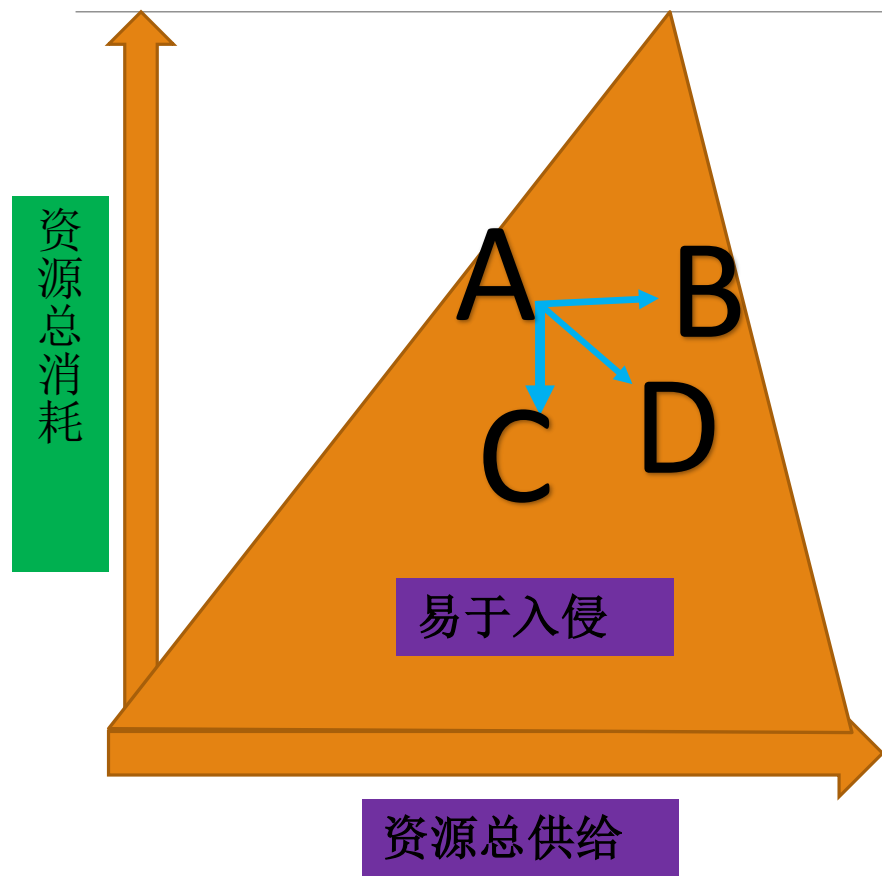
两者均为年末的一年生非禾本科草本植物。

粘草

3.5 资源机遇假说

大空间尺度上可利用资源是决定生态系统可入侵性的关键因素，群落具有入侵种所必需的生态资源，包括营养、食物、水分、光照、土壤等，而且这些生态资源大多不能被土著种有效利用，此时若有外来繁殖体，便会发生生物入侵；

3.5 资源机遇假说



A到B资源总供给的增加，
A到C群落中资源消耗的降低，
A到D两种效应的叠加
都会增加群落的可利用资源，
从而增强群落的可入侵性。

3.5 资源机遇假说

案例

(1) 土壤营养

在生态系统中，氮和磷通常是植被的限制性资源，土壤营养水平对决定植物群落可入侵性的起重要作用，相对贫瘠的土地不易被外来种入侵，**入侵植物多数容易发生在土壤肥沃，如氮、磷含量高的地方**，而且向土壤中加入肥料能够使入侵植物的密度和生物量增加，**而使本地植物的密度、生物量甚至物种多样性降低，有利于外来植物的入侵和扩散。**

3.5 资源机遇假说

案例

(2) 水分

降水量增加和降水量变化增大都会导致可利用**水分增加，从而促进入侵**。在干旱地区或干旱时期，土壤水分可利用性比较低，外来种的比例低，相比之下，湿地植物群落的更容易被外来植物入侵。

3.5 资源机遇假说

案例

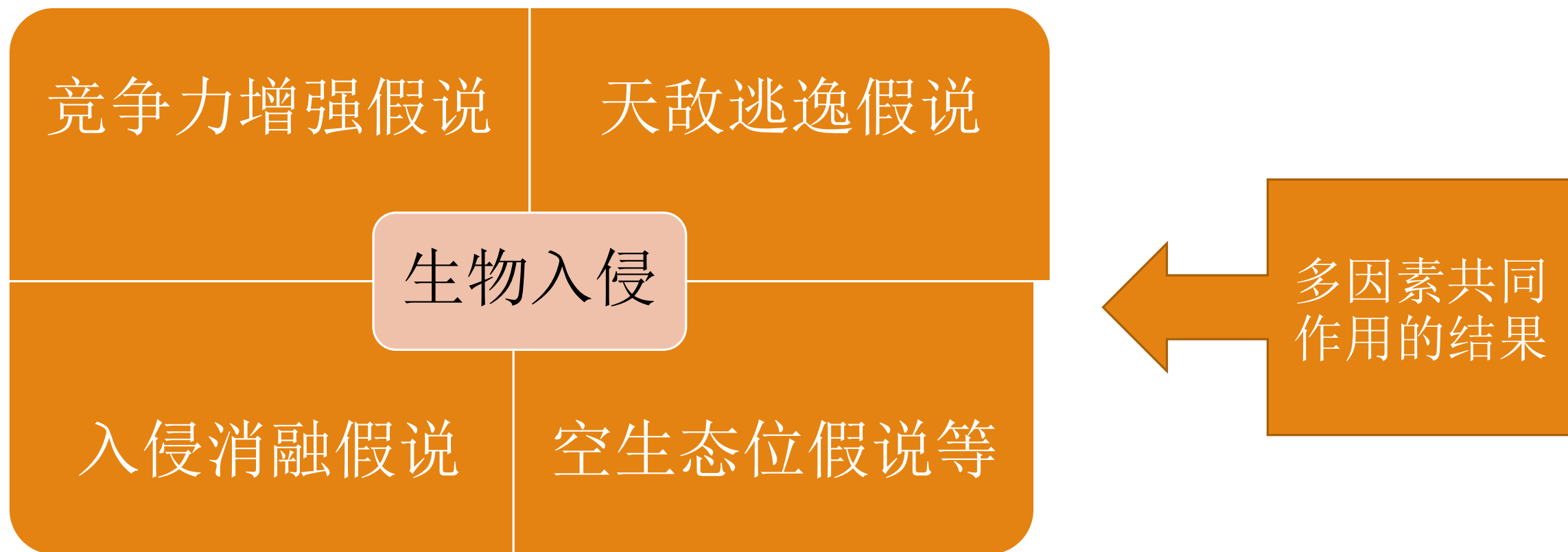
(3) CO_2

大气中的 CO_2 是植物进行光合作用的基础，当其他资源不受限制的时候，植物的生长随着其浓度增加而增加，**生物量的增加加速了燃料的积累。**

3.6 入侵过程中的生物因子间的交互作用



3.6 入侵过程中的生物因子间的交互作用



小结

重点掌握假说内容

竞争力增强假说

竞争

寄生与捕食

种间关系

化感作用

新武器假说

空余生态位

空余生态位假说

互利共生

入侵融化假说