

## 花椒林细根空间分布特征及椒草种间地下竞争

骆宗诗<sup>1</sup> 向成华<sup>1</sup> 章路<sup>2</sup> 谢大军<sup>1</sup> 罗晓华<sup>1</sup>

(1 四川省林业科学研究院 2 四川省林业调查规划院)

摘要:农林复合系统中,果树和作物的细根分布是果树和作物竞争的主要指标,是模式物种选择及系统设计的依据。在花椒模式更新改造中,为了达到间作物选择和行间配置的合理性,采用壕沟法研究了花椒林细根的空间分布状况,并用 Levins 提出的生态位重叠公式计测了花椒和杂草间的地下竞争指数。结果表明:1)花椒和杂草细根( $\leq 1$  mm)的平均生物量分别是 0.40、0.97 mg/cm<sup>3</sup>,杂草细根生物量是花椒的 242.0%;2)在距树行 30、60、90、120、150 cm 处,花椒和杂草细根分布均匀,但各距离处杂草细根生物量显著多于花椒;除距树行 30 cm 外,各水平距离杂草对花椒的竞争指数显著高于花椒对杂草的竞争指数;3)在土层 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~25 cm、25~30 cm 处,花椒细根生物量分布均匀;杂草细根生物量随土层加深而逐渐减少。依杂草细根生物量的多寡,可将杂草细根生物量分为 2 个区,1 区是 0~15 cm 土层的主分布区,其细根生物量占杂草细根总生物量的 81.1%;2 区是 15~30 cm 土层的次分布区,其细根生物量占杂草细根总生物量的 18.90%。各土层中,除 25~30 cm 土层外,杂草对花椒的竞争指数高于花椒对杂草的竞争指数。根据花椒和杂草细根生物量的空间分布和地下花椒和杂草的种间竞争强度状况,讨论了四川盆地丘陵区退耕还林地花椒模式更新的间作物选择、行间配置和水肥管理应注意的问题。

关键词:农林复合系统;细根;种间竞争;空间分布;模式更新

中图分类号:S759.2 文献标志码:A 文章编号:1000-1522(2010)02-0086-06

LUO Zong-shi<sup>1</sup>; XIANG Cheng-hua<sup>1</sup>; ZHANG Lu<sup>2</sup>; XIE Da-jun<sup>1</sup>; LUO Xiao-hua<sup>1</sup>. **Spatial distribution of fine roots and underground competition between Chinese prickly ash (*Zanthoxylum bungeum*) and weeds in Chinese prickly ash plantation.** *Journal of Beijing Forestry University* (2010) 32 (2) 86-91 [Ch, 24 ref.]

1 Sichuan Academy of Forestry, Chengdu, 610081, P. R. China;

2 Sichuan Institute of Forest Inventory and Planning, Chengdu, 610081, P. R. China.

Fine root biomass distribution is usually used as a main competition indicator for fruit trees and crops and a basis for species selection and system design in agroforestry systems. To achieve a rational intercrop selection and density arrangement in the model shifting of Chinese prickly ash (*Zanthoxylum bungeum*) plantations, the fine root biomass distribution of Chinese prickly ash and interplanted weeds throughout the soil profiles was measured by an entrenchment method. The underground competition index between Chinese prickly ash and weeds was measured by the niche overlap formula from Levins (1968). The results show that: 1) the average fine root ( $\leq 1$  mm) biomass of Chinese prickly ash and weeds were 0.40 and 0.97 mg/cm<sup>3</sup>, respectively and the amount of weed roots was 242.0% of that of Chinese prickly ash roots; 2) the fine root biomass of Chinese prickly ash and weeds presented a even distribution with distances from trees at 30 cm, 60 cm, 90 cm, 120 cm and 150 cm ( $P > 0.05$ ), but the amount of fine roots of weeds at all distances was more than that of Chinese prickly ash ( $P < 0.05$ ), and the competition index of weeds for Chinese prickly ash at all distances was significantly higher than that of Chinese prickly ash for weeds at 0.05 levels except for the distance at 30 cm; 3) at soil depths of 0-5

收稿日期:2009-05-10

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD03A054)。

第一作者:骆宗诗,副研究员。主要研究方向:农林复合经营。电话:028-82902311 Email:luozongshi168@yahoo.com.cn 地址:610081

四川省成都市星辉西路18号四川省林业科学研究院

本刊网址: http://www.bjfujournal.cn; http://journal.bjfu.edu.cn

China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

cm, 5–10 cm, 10–15 cm, 20–25 cm and 25–30 cm, the fine root biomass of Chinese prickly ash was evenly distributed ( $P > 0.05$ ), but those of weeds decreased with increasing depths. The fine root of weeds throughout the soil profiles were grouped into two areas according to the distribution of fine weed root biomass: the main area at 0–15 cm depth where fine root biomass occupied 81.1% of total fine root of weeds and the other at 15–30 cm where fine root biomass occupied 18.9%. The competition index of weeds for Chinese prickly ash at each soil layer was clearly higher than that of Chinese prickly ash for weeds at 0.05 levels except for at 25–30 cm depth. Based on the distribution of fine root biomass of Chinese prickly ash and weeds and the underground competition index between them, the intercrops selection, the pattern of density arrangement as well as nutrient and water management were discussed for the model shifting of Chinese prickly ash plantation in the conversion of cropland to forests in the hilly region of the Sichuan Basin.

**Key words** agroforestry system; fine root; interspecific competition; spatial distribution; model shifting

根系是农林复合系统的重要组成部分,是植物从土壤中吸收水分和矿质元素的主要器官,并且是控制植物与其周围环境进行能量和物质分配的关键器官之一<sup>[1-2]</sup>。根系在土壤中的空间结构和分布决定了植物获取土壤资源的多寡<sup>[3]</sup>,也决定了植物个体间或种群间对土壤资源的竞争能力,因而在种内、种间关系的研究中,认为地下部分竞争的重要性要优于地上部分竞争<sup>[4]</sup>。在农林复合系统中,因根系之间的相互作用是构建农林复合模式的理论基础<sup>[5]</sup>,而合理调控种间关系尤其是根之间相互作用的技术则是农林复合系统可持续发展的主要关键技术。在农林复合系统的根系研究中,如,Simone等<sup>[5]</sup>研究了距林带不同距离土壤水分空间分布与树木根长密度的关系,George等<sup>[6]</sup>研究了截除杨树(*Populus* spp.)根对林下植被的影响;马秀玲等<sup>[7]</sup>研究了华北平原杨树—小麦(*Triticum aestivum*)复合系统中杨树和小麦吸水根的分布特征,张劲松等<sup>[8-9]</sup>研究了太行山低山丘陵区苹果(*Malus pumila*)—小麦复合系统中果树吸水根及小麦吸水根的分布特征,这些研究主要目的是用来建立耗水模式,强调机理性研究。退耕还林工程在我国已实施近10年,据在四川盆地丘陵区的现场调查,一些农林复合模式或因树种和间作物种间竞争激烈或因树种衰老导致经济效益低下,急需解决模式更新和种间配置问题。因此,研究农林复合系统中细根的空间分布和种间竞争对模式更新间作物的选择和行间配置尤显重要。

花椒(*Zanthoxylum bungeum*)属芸香科(Rutaceae)花椒属植物,在我国已有2000多年的种植历史,是我国重要的食用调料、香料、油料及药材树种。花椒因具有栽种简便、生长快、结实早、周期长、经济价值高以及耐干旱贫瘠、根系发达、固土能力强等特点,是退耕还林工程重要的经济选择树种。

四川是花椒的主产区,花椒种植面积和产量居全国之首<sup>[10]</sup>,已形成了退耕还林工程较大的产业基地。然而,一些花椒林地由于栽培管理原始粗放,病虫害严重以及白茅(*Imperata cylindrica*)等野生杂草的入侵和竞争,致使人工群落退化,经济效益低下,已影响退耕还林工程的持续稳定。四川盆地丘陵区垦植指数高,地形地貌破碎,人口与资源矛盾突出,对退耕还林地进行间作和套种,提高复种指数是解决退耕还林地经济生态效益双赢的一种有效途径。因此,本研究的目的是通过研究花椒林中花椒和杂草细根的空间分布及其种间地下竞争状况,为花椒林模式更新的间作物选择、行间配置及间作系统经营管理提供依据。

## 1 试验地概况和研究方法

### 1.1 试验地概况

研究区位于四川省阆中市千佛镇“四川盆地低山丘陵区农林复合系统可持续经营技术研究”试验区内(31°42'47" N, 106°18'45" E, 海拔720 m)。试验区位于嘉陵江上游,属于亚热带季风气候。多年平均气温17.1℃,1月均温6.3℃,7月均温27.1℃,全年日照时数1379.8 h,≥10℃的多年平均积温5409.4℃,无霜期292 d。历年平均降水量1031.3 mm,蒸发量1275.8 mm,夏半年(5—10月)多年平均降水量865.4 mm,占全年84%。试验区内土壤为紫色土,土层瘠薄,厚度仅25~30 cm, pH值8.04~8.13,有机质含量10.84~17.19 g/kg;全N含量0.80~1.01 g/kg;全P含量0.47~0.49 g/kg;全K含量13.72~16.72 g/kg;水解N含量52.91~62.80 mg/kg;有效P含量2.92~3.10 mg/kg;速效K含量74.51~85.33 mg/kg。

本项研究的具体对象是丘陵台地的花椒林,台地长500 m、宽90 m。花椒品种为大红袍,株行距

80 cm × 300 cm, 密度4 167株/hm<sup>2</sup>, 树带行向为东南偏西北向。花椒栽植于1999年春, 2000年纳入退耕还林工程, 因疏于管理, 林下杂草丛生。2007年7月8日测得花椒地径(5.2 ± 1.03) cm ( $n = 16$ , 下同) 株高(195.9 ± 32.21) cm, 行间冠幅(286.0 ± 50.52) cm, 株间冠幅(210.3 ± 50.44) cm, 单株果实干重(173.97 ± 100.13) g, 林隙分数(31.50 ± 12.68)% 冠层开度(36.14 ± 14.11)% 叶面积指数(LAI) 1.27 ± 1.20, 平均叶倾角64.51 ± 22.64。杂草主要是白茅, 占95%以上, 高45 cm, 地上生物量干重405.05 g/m<sup>2</sup>, 地下生物量干重1 310.53 g/m<sup>2</sup>, 地上地下之比为0.31。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 根生物量的测点布置

假设花椒根系以树干为中心, 在行间方向上的分布具有对称性, 采用壕沟法、分层取样测定根生物量。选择花椒行的中央、距中央5 m的两端作为样带, 隔9行以同样方式设立样带, 共计9条。每一样带沿正对树干、垂直于行向的方向挖一条长180 cm、深达土壤底层(30 cm深, 局部25 cm深)的剖面, 在水平方向上距树干30、60、90、120、150 cm处作为取样中心点, 垂直方向上以每隔5 cm土壤分层(即0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~25 cm、25~30 cm共6层)取样, 取样体积10 cm × 10 cm × 5 cm, 共取得262个土块样品; 但第8条样带、距树行90 cm的6个土块因进行尝试性工作而遗弃, 实际统计分析的土块为256个。取样时间2007年7月8日。

### 1.2.2 花椒和杂草根的辨别

本研究中的花椒和杂草(白茅)细根能很好地区分。在颜色上, 花椒根和细根呈褐色或略带褐色, 杂草(白茅)细根白色或乳白色; 在质地上, 花椒根和细根硬而脆, 白茅根软而柔; 在形态上, 花椒细根分枝多、较短, 白茅细根分枝少、较长。

### 1.2.3 细根生物量的测定

清洗土壤和杂质后, 风干样品, 分拣花椒和杂草(白茅)根。以根直径1 mm为限, 将根分成2级, > 1 mm的为粗根(白茅实为地下茎和少部分根), ≤ 1 mm的为细根。再置于65℃烘箱烘至恒重, 用精度0.001 g的电子天平测其干重, 并将500 cm<sup>3</sup>土壤样方体积换算为1 cm<sup>3</sup>。

### 1.2.4 地下种间竞争强度的度量

因花椒、白茅的生物学和生态学特性不同, 可采用不对称的生态位重叠来表达花椒和杂草的种间竞争指数。本文用Levins<sup>[11]</sup>提出的生态位重叠公式来计测花椒和杂草间的地下竞争指数, 其数学表达式为:

$$a_{hi} = \sum_{j=1}^r p_{hj}p_{ij} / \sum_{j=1}^r p_{hj}^2 \quad (1)$$

$$a_{ih} = \sum_{j=1}^r p_{hj}p_{ij} / \sum_{j=1}^r p_{ij}^2 \quad (2)$$

式中:  $p_{hj}$ 、 $p_{ij}$ 分别是种 $h$ 、种 $i$ 对资源状态 $j$ 的利用率, 文中为细根生物量;  $r$ 为资源维数,  $a_{hi} \neq a_{ih}$ , 文中以样方为资源位, 计算各位点的竞争强度。

### 1.2.5 统计分析

统计分析使用SPSS 13.0。水平方向按距树行30、60、90、120、150 cm 5个区间进行统计, 垂直方向按土层0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm、20~25 cm、25~30 cm 6个区间进行统计, 文中只分析了花椒和杂草(白茅)的细根生物量。水平方向和垂直方向各区间的种内细根生物量差异的显著性用One-way ANOVA检验, 并对差异显著者用LSD进行平均值比较; 水平和垂直各区间的种间细根生物量以及种间竞争指数的差异显著性用Paired-samples T test检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 细根空间分布特征

在供分析的256个样本、土壤总体积128 000 cm<sup>3</sup>内, 花椒细根生物量总干重51.24 g, 单位体积干重0.40 mg/cm<sup>3</sup>; 杂草细根生物量总干重123.98 g, 单位体积干重0.97 mg/cm<sup>3</sup>; 杂草细根生物量是花椒细根生物量的242.0%。

水平方向上(图1A), 花椒和杂草的细根生物量分布较均匀, 各距离区间没有显著差异(花椒 $P = 0.101$   $n = 256$ ; 杂草 $P = 0.731$   $n = 256$ )。距树干各距离花椒平均细根生物量为0.27~0.54 mg/cm<sup>3</sup>, 而杂草平均细根生物量为0.85~1.13 mg/cm<sup>3</sup>, 都多于花椒的细根生物量, 除距树干30 cm种间差异不显著外( $P = 0.061$   $n = 51$ ), 其余各距离区间种间差异显著( $P < 0.05$   $n$ 分别为51、46、54和54)。

垂直方向上(图1B), 花椒细根生物量分布均匀( $P = 0.124$   $n = 256$ ), 平均值为0.29~0.64 mg/cm<sup>3</sup>; 杂草细根生物量随土层加深而减少, 由0~5 cm土层的2.71 mg/cm<sup>3</sup>降到25~30 cm土层的0.30 mg/cm<sup>3</sup>, 且差异极显著( $P = 0.000$   $n = 256$ ), 但10 cm以下各层, 无显著性差异( $P > 0.05$ )。各土层花椒和杂草相比, 25 cm土层以下, 花椒细根生物量略多于杂草( $P = 0.085$   $n = 36$ ), 15~25 cm土层, 杂草细根生物量略多于花椒( $P > 0.05$   $n = 44$ ), 而15 cm土层以上, 杂草细根生物量显著多于花椒( $P < 0.05$   $n = 44$ )。据此, 在垂直方向上可以将杂草细根生物量分为主分布区和次分布区, 前者为0~15 cm土层, 细根生物量100.56 g, 占杂草总细根生物量123.98 g的81.1%; 后者为15~30 cm土层, 细根生物量23.42 g, 占杂草总细根生物量的18.9%。

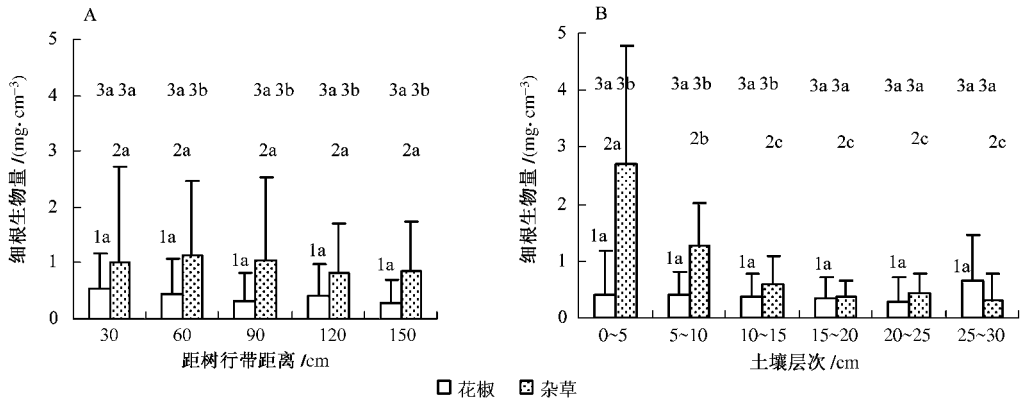


图1 花椒林中花椒和杂草细根生物量的分布特征(A:水平分布,B:垂直分布)

Fig.1 Fine root biomass distribution of Chinese prickly ash and weeds in Chinese prickly ash plantation.

注:字母前序号1和2分别表示花椒和杂草的种内单因素方差检验结果,β表示花椒和杂草的种间 Paired-samples T test 检验结果,字母相同者表示差异不显著(P > 0.05),不同者表示差异显著(P < 0.05)。

### 2.2 花椒杂草地下竞争能力

距树干不同距离和不同土壤层次的花椒和杂草间的地下竞争指数见图2,并认为指数值大的,其竞争能力强。在水平方向上(图2A),距树干30 cm处,花椒对杂草的竞争能力(a(椒-草) = 0.439)略强于杂草对花椒的竞争能力(a(草-椒) = 0.393)(P = 0.462, n = 6);其他距离处,杂草的竞争能力都强于花椒,且差异显著(P < 0.05, n = 6)。垂直方向

上(图2B),25~30 cm土层花椒杂草彼此之间的竞争强度小(a(椒-草) = 0.021, a(草-椒) = 0.011),但花椒对杂草的竞争能力略强于杂草对花椒的竞争能力(P = 0.242, n = 5);其余各土层,杂草对花椒的竞争能力强于花椒对杂草的竞争能力,其中0~5 cm、20~25 cm土层差异显著(P < 0.05, n = 5),5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm层差异不显著(P > 0.05, n = 5)。

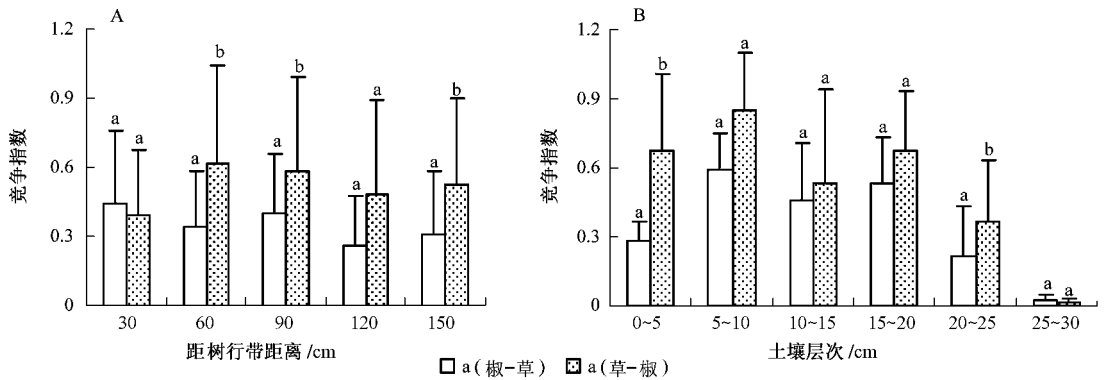


图2 花椒林中花椒和杂草的种间竞争强度(A:水平方向竞争指数,B:垂直方向竞争指数)

Fig.2 Interspecific competition between Chinese prickly ash and weeds in Chinese prickly ash plantation

注:字母相同者表示种间差异不显著(P > 0.05),不同者表示种间差异显著(P < 0.05)。

### 2.3 地下空间单元细根的重合率

根系重合率可表示根系在研究单元内的相遇机率,显然与取样单元的大小有关。根系重合率表达了实际根系间的错位或重合程度,实际传达了植物对土壤资源中相同利用元素的竞争关系;而非重合率则表达了避开这种资源竞争利用的生态位分离现象,是植物根系在空间中竞争的自然结果。花椒林地下土壤256个500 cm<sup>3</sup>的取样单元中,花椒和杂草细根的重合单元为129个,重合率50.4%,非重合率49.6%。

草细根的重合率分别为64.7%、47.1%、54.3%、46.3%和40.7%。距树干基部30 cm处有较高的重合率;在垂直地下生态空间中,重合率分别为47.7%、77.3%、59.1%、63.6%、38.6%和8.3%。土层20 cm以上有较高的重合率,表明在这些区域存在较大的竞争压力。与重合率相反,非重合率则表明物种存在另外的独占空间来发展自身,以达到物种间利用资源的暂时平衡。水平空间上,花椒和杂草细根的非重合率分别为35.3%、52.9%、45.7%、53.7%和59.3%;垂直方向上的非重合率分别为52.3%、22.7%、40.9%、36.4%、61.4%和91.7%。

从非重合率的表面上看,花椒和杂草有大量的非竞争空间。然而,统计127个细根非重合单元中,则发现花椒仅占29.1%,杂草却占了70.9%。水平方向上,花椒独占率分别为9.4%、5.5%、3.1%、6.3%、

4.7%;杂草独占率分别为4.7%、15.7%、13.4%、16.5%、20.5%;不同土层中,花椒独占率分别为0%、0.3.9%、3.9%、7.1%、14.2%;杂草独占率分别为18.1%、7.9%、10.2%、8.7%、14.2%、11.8%。

表1 花椒林地下生态空间中花椒和杂草细根的非重合率和独占率

Tab.1 Non-overlap ratio and ratio of plots occupied alone by Chinese prickly ash and weeds in underground space in Chinese prickly ash plantation.

项目	距树行带距离/cm					土壤层次/cm					
	30	60	90	120	150	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30
样方数	51	51	46	54	54	44	44	44	44	44	36
重合数	33	24	25	25	22	21	34	26	28	17	3
重合率/%	64.7	47.1	54.3	46.3	40.7	47.7	77.3	59.1	63.6	38.6	8.3
非重合率/%	35.3	52.9	45.7	53.7	59.3	52.3	22.7	40.9	36.4	61.4	91.7
占单元数	花椒	12	7	4	8	6	0	0	5	5	9
	杂草	6	20	17	21	26	23	10	13	11	18
独占率/%	花椒	9.4	5.5	3.1	6.3	4.7	0	0	3.9	3.9	7.1
	杂草	4.7	15.7	13.4	16.5	20.5	18.1	7.9	10.2	8.7	14.2

### 3 结论与讨论

#### 3.1 细根生物量的空间分布

在花椒林30 cm土层、距树线150 cm的地下空间中,花椒细根生物量均匀分布于各空间,与朱美秋等<sup>[12]</sup>对河北石质山区花椒林细根( $\leq 1$  mm)呈现出明显的空间分层的结论不一致。可能原因:一是本研究的花椒林土层浅薄,仅有25~30 cm厚,且林下杂草丛生;而朱美秋研究的花椒林土层达100 cm,因而本研究的花椒根在如此狭窄的空间向下生长时受到极度限制,作为生存策略,在与杂草的竞争中,花椒根向水平方向扩展以达到最大吸收所需养分和水分;二是本研究的花椒为9年生,朱美秋所研究的花椒为4年生,研究区9年生的花椒已处于盛果期,盛果期花椒的水平根系扩展范围可达15 m以上,约为树冠直径的5倍<sup>[13]</sup>,从而也表明花椒细根的空间分布因立地条件、物种构成、年龄等因素而有所差异。花椒林中白茅等杂草细根在水平方向上均匀分布,而垂直方向上具明显的分层现象。细根生物量的81.1%分布于0~15 cm的土层,18.9%分布于15~30 cm土层。

#### 3.2 地下竞争强度

竞争是植物形态、生活史以及植物群落结构和动态的主要动力之一<sup>[14]</sup>,在地下生态系统中,根系的分布<sup>[15]</sup>和根密度<sup>[5]</sup>决定了植物吸收土壤资源的能力,也决定了物种间的竞争强度<sup>[16-18]</sup>。因此,花椒林中花椒和杂草细根的空间分布格局和数量的多寡就决定了花椒和杂草种间的竞争能力。研究表明,除在距树干30 cm的水平范围和25~30 cm的土层内花椒对杂草的竞争指数略高于杂草对花椒

的竞争指数外,其余空间单元,杂草对花椒的竞争能力显著强于花椒对杂草的竞争能力,杂草Levins竞争指数平均高出花椒竞争指数0.21。采用Levins<sup>[11]</sup>生态位重叠公式计测的花椒和杂草间的地下竞争指数,其实是花椒和杂草对地下生态空间资源的共同占有率,所表示的物种间的关系仍然是生态位重叠。然而物种间为了避免种间的直接竞争会发生生态位分离<sup>[11]</sup>。如用细根的非重合率来表示这种生态位分离现象,从表1可知,研究单元内花椒和杂草细根的非重合率达49.6%,似乎表明花椒和杂草间还存在另外的独占空间来发展自身,以达到物种间利用资源的暂时平衡。然而,在127个细根非重合单元中,花椒独占率仅占29.1%,杂草却占70.9%,表明这种分离不利于花椒,花椒在竞争中地下生态空间被压缩。此外,比根长作为根系的一种形态特征,反映了根系相对用于构建和维持根组织的资源成本而言利于资源的获取<sup>[19]</sup>,以及决定根系吸收养分和水分的能力<sup>[20]</sup>,因而可以认为在种间竞争中比根长大的植物较比根长小的植物具有竞争优势。据本研究知,花椒细根的平均比根长 $(1\ 082 \pm 170)$  cm/g( $n=10$ ),杂草 $(1\ 990 \pm 446)$  cm/g( $n=9$ ),高出花椒84%(未发表资料)。可见,在相同的生物量分配中,杂草较花椒更多地将生物量用于根系生长上,从而加强了养分吸收能力,在与花椒的竞争中处于优势。

以上分析表明,花椒林中花椒在与白茅等杂草的竞争中处于劣势,杂草与树争肥严重。

#### 3.3 花椒林下间作作物选择和模式配置

农林复合系统经营的目的是提高系统生产力,

但系统生产力是系统内各组分间促进和竞争共同作用的结果<sup>[16]</sup>。如何使促进作用达到最大,而使竞争作用减到最小,则成了复合系统经营成功与否的关键<sup>[21-22]</sup>。因此,对林下杂草丛生的花椒林进行以花椒为复合系统主体的模式更新中,间作作物的选择、行间配置及复合系统的经营管理则成了模式更新成功的极为重要的因素。传统农林复合系统中,农作物一般作为复合系统的主体,林木选择深根木本植物,农作物选择浅根性植物,浅根农作物和深根木本植物以互补的方式利用土壤中的水分及养分<sup>[23-24]</sup>,并要充分考虑到地上部分林木的胁地效应。研究区土层浅薄,仅有25~30 cm厚,而花椒为浅根性植物<sup>[13,16]</sup>,其细根均匀分布于土壤中,在与杂草的竞争中,花椒细根相对分布较多的区域一是在距树线60 cm范围内(即冠幅完全覆盖范围内),细根量25.28 g,占花椒总细根量51.24 g的49.3%;二是25~30 cm较深层的土壤,细根量17.86 g,占花椒总细根量34.9%;细根分布较少的区域是在距树线150 cm(即树行中央),细根量7.36 g,占花椒总细根量的14.5%;杂草细根量主要分布于0~15 cm。因此,对花椒杂草地进行模式更新改造时,在空间上,间作作物可选择浅根性的草本植物或草质性藤本植物,并考虑间作作物的生态习性,行间配置应在行中央60 cm范围内,以保证花椒根系的充足生长空间;时间上,可利用花椒的物候期,避开时间生态位的重叠。通过加强经营管理,如在花椒树行的60 cm范围内进行垄沟以保水保墒、增加根系生长空间;行间施肥时,应深施,保证间作作物和花椒树的营养供应,减少种间竞争,更新的模式是完全可以提高复合系统的复种指数和生产力。如间作作物选择浅根性草本植物,可种植3行;间作作物选择草质性藤本植物,可在行中央种植1行。总之,草本植物根系可控制在行中间的100 cm范围内,并防止杂草侵入花椒树行内。

### 参 考 文 献

- [1] 吴楚,王政权,范志强. 树木根系衰老研究的意义与现状[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7):1276-1280.
- [2] 张小全,吴可红,DIETER M. 树木细根生产与周转研究方法评述[J]. 生态学报, 2000, 20(5):875-883.
- [3] 陈伟,薛立. 根系间的相互作用[J]. 生态学报, 2004, 24(6):1243-1251.
- [4] 王政权,张彦东. 水曲柳落叶松根系之间的相互作用研究[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3):346-350.
- [5] SIMONE R, CHIN K O. Spatial distribution of root length density and soil water of linear agroforestry systems in sub-humid Kenya: Implications for agroforestry models [J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, 188:77-89.
- [6] GEORGE W O, EDWARD W B. Aspen canopy removal and root trenching effects on understory vegetation [J]. *Forest Ecology and Management*, 2006, 230:79-90.
- [7] 马秀玲,陆光明,徐祝龄,等. 农林复合系统中林带和作物的根系分布特征[J]. 中国农业大学学报, 1997, 2(1):109-116.
- [8] 张劲松,孟平,尹昌君. 果农复合系统中果树根系空间分布特征[J]. 林业科学, 2002, 38(4):30-33.
- [9] 张劲松,孟平,尹昌君,等. 苹果-小麦复合系统中作物根系时空分布特征[J]. 林业科学研究, 2002, 15(5):537-541.
- [10] 吴宗兴,刘治富,余明忠,等. 阿坝州花椒主要病虫害种类及防治技术研究[J]. 四川林业科技, 2003, 24(4):58-61.
- [11] 余世孝. 数学生态学导论[M]. 北京:科学技术文献出版社, 1995:23-67.
- [12] 朱美秋,马长明,翟明普,等. 河北石质区花椒细根分布特征[J]. 林业科学, 2009, 45(2):131-135.
- [13] 王有科,南月政. 花椒栽培技术[M]. 北京:金盾出版社, 2004:7-12.
- [14] 李博,陈家宽,沃金森 A R. 植物竞争研究进展[J]. 植物学通报, 1998, 15(4):18-29.
- [15] PERSSON H, VON FIRCKS Y, MAJDI H, et al. Root distribution in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand subjected to drought and ammonium-sulphate application [J]. *Plant and Soil*, 1995, 168-169(1):161-165.
- [16] 刘兴宇,曾德慧. 农林复合系统种间关系研究进展[J]. 生态学杂志, 2007, 26(9):1464-1470.
- [17] SCHROTH G. Tree root characteristics as criteria for species selection and systems design in agroforestry [J]. *Agroforestry Systems*, 1995, 30:125-143.
- [18] SMITH D M, JACKSON N A, ROBERTS J M, et al. Root distributions in *Grevillea robusta*-maize agroforestry system in semi-arid Kenya [J]. *Plant and Soil*, 1999, 211:191-205.
- [19] ESPELETA J F, DONOVAN L A. Fine root demography and morphology in response to soil resources availability among xeric and mesic sandhill tree species [J]. *Functional Ecology*, 2002, 16:113-121.
- [20] FRANSEN B, KROON H D, BERENDSE G. Root morphological plasticity and nutrient acquisition of perennial grass species from habitats of different nutrient availability [J]. *Oecologia*, 1998, 115(3):351-358.
- [21] RAO M R, NAIR P K R, ONG C K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems [J]. *Agroforestry Systems*, 1998, 38:3-50.
- [22] THEVATHASAN N V, GORDON A M. Ecology of tree intercropping systems in the north temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada [J]. *Agroforestry Systems*, 2004, 61:257-268.
- [23] SCHROTH G. A review of belowground interactions in agroforestry, focusing on mechanisms and management options [J]. *Agroforestry Systems*, 1999, 43:5-34.
- [24] DROPPPELMANN K J, EPHRATH J E, BERLINER P R. Tree/crop complementarity in an arid zone runoff agroforestry system in northern Kenya [J]. *Agroforestry Systems*, 2000, 50:1-16.

(责任编辑 赵 勃)