

单作与间作条件下核桃根系分布特征研究

马长明¹ 翟明普² 刘春鹏¹

(¹ 河北农业大学林学院 ² 北京林业大学省部共建森林培育与保护教育部重点实验室)

摘要:以河北平山县退耕区核桃林为研究对象,通过自制取根器取样,研究间作对核桃根系分布的影响。结果表明:单作条件下核桃根系在垂直方向上呈负指数型分布,根系主要集中在10~60 cm;在水平方向上,89.75%的根长密度集中在0~110 cm。间作条件下核桃根系在垂直方向上,主要集中在20~70 cm;在水平方向上,95.15%的根长密度集中在0~110 cm;间作物黄芩在垂直方向上主要分布于0~50 cm,水平方向上主要分布于100~150 cm处,其对核桃根系分布具有一定的影响。

关键词:核桃;细根;间作

中图分类号:S727.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1522(2009)06-0181-06

MA Chang-ming¹; ZHAI Ming-pu²; LIU Chun-peng¹. **Root distribution characteristics of *Juglans regia* in monoculture and intercropping.** *Journal of Beijing Forestry University* (2009) 31 (6) 181-186 [Ch, 23 ref.]

¹ College of Forestry, Agricultural University of Hebei, Baoding City, 071000, P.R.China;

² Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, 100083, P.R.China.

The effects of intercropping on *Juglans regia* root distribution were studied with sampling device in returning farmland area in Pingshan County of Hebei Province, northern China. The results showed that *J. regia* roots were presented negative exponential distribution in the vertical direction in monoculture, and the roots were concentrated in 10-60 cm; in the horizontal direction, 89.75% root length density centralized in 0-110 cm. While under intercropping condition, *J. regia* roots were mainly centralized in 20-70 cm in the vertical direction; and in the horizontal direction, 95.15% root length density centralized in 0-10 cm. The roots of intercrops of *Scutellaria baicalensis* mainly distributed in 0-50 cm in vertical direction, and in horizontal direction, mainly distributed in 100-150 cm. Therefore, *S. baicalensis* has a certain impact on the distribution of *J. regia* roots.

Key words *Juglans regia*; fine root; intercropping

20世纪90年代以后,国内外学者在研究农林复合经营系统的界面作用机理时发现,有些树木和作物之间的地下竞争要比地上竞争更为激烈^[1-3],根系的分布特征对整个系统具有重要的意义。有些学者据此提出将树木根系特征作为农林复合经营树种选择的一个标准。尤其在干旱半干旱地区,有研究证实^[4-7],根系的分布深度由于影响到林木地下营养空间的大小和对土壤水分、养分的利用,直接影响到

林木地上部分的生长和效益的发挥。植物细根的水平分布和垂直分布范围是植物营养能力的最基本体现,同时决定着根系对地下资源(水肥)的利用效果。植物活性根的分布模式在决定最佳株行距、最佳间作模式等方面具有重要意义^[1]。

因此,本研究对核桃(*Juglans regia*)单作模式和核桃-黄芩(*Scutellaria baicalensis*)模式下根系分布特征进行了研究,以期对退耕区林农间作模式的选取、

收稿日期:2009-04-08

<http://www.bjfujournal.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAD03A11)。

第一作者:马长明,博士,讲师。主要研究方向:森林培育、植被恢复。电话:0312-7528727 Email:machangming@126.com 地址:071000 河北省保定市河北农业大学林学院。

责任作者:翟明普,教授,博士生导师。主要研究方向:森林培育、城市林业。电话:010-62336044 Email:zhmp@bjfu.edu.cn 地址:100083 北京林业大学林学院。

合理密度的确定等方面提供依据。

1 研究区概况

试验地设在河北省平山县寺家沟村,该区属于暖温带半干旱半湿润季风型大陆性气候。年平均气温 12.7℃,全年太阳辐射量为 5.5~5.7×10⁵ J/cm²,全年有效辐射为 2.7×10⁵ J/cm²,多年平均日照时数 2 600~2 750 h;年平均降水量 609 mm,多年平均蒸发量 1 815.4 mm,年平均干燥度 1.38;多年平均风速 2.2 m/s,土壤为石灰性褐土。

核桃林试验地是 2001 年在退耕地上栽植的,株行距 4 m×4 m,品种为辽宁一号,平均地径 66.1 mm。黄芩为同期种植。

2 研究方法

由于样地石砾含量较高,无法使用根钻,所以本研究采用自制根系取样器(10 cm×10 cm×10 cm),于 2005 年 8 月进行取样。以树干基部为中心从东、南、西、北 4 个方向带取样,垂直深度为 100 cm,每 10 cm 为 1 层,水平幅度 150 cm,分别在 10~20 cm、40~50 cm、70~80 cm、100~110 cm 和 140~150 cm 处取样。将所取带根土团编号后装入塑料袋带回。

将带根土团倒入 0.25 mm 筛进行浸泡、冲洗,然后采用加拿大 REGENT 公司生产的根系形态学和结构分析系统(WINRhizo),测量细根的长度、表面积、体积等指标,并采用以下公式转变为密度值^[8]:

$$X_i = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k x_i}{nk} \cdot \frac{1}{lwh}$$

式中: x_i 为根系各指标($i=1,2,3,4$),其中 x_1 为根

长(cm)、 x_2 为表面积(cm²)、 x_3 为体积(cm³)、 x_4 为生物量(g); X_i 为根系各指标的相应密度值, l 、 w 、 h 分别为取样器的长、宽、高, n 、 k 分别为样木总数和样点总数。

3 结果与分析

3.1 单作条件下核桃根系的分布规律

3.1.1 核桃根系的垂直分布规律

由图 1a 可以看出:核桃根系的根长密度呈负指数型分布,基本是随着土壤深度的加深而逐渐减小的规律。在 0~10 cm 土层,各根系指标较小;10~20 cm 最大;由 20 cm 到 100 cm 逐渐减小。还可以看出,核桃根系主要分布在 10~60 cm,其根长密度占总量的 87.04%。在 10~60 cm 土层中,10~20 cm 土层根长密度所占比例最大,占 10~60 cm 总量的 36.68%。

由图 1c 可以看出:在 0~100 cm 土层,核桃比根长基本呈随土层加深而减小的整体趋势,呈负指数型分布;其比根长分布范围分别为 240.31~3 080.08 cm/g,其最大比根长和最小比根长分别分布在 0~10 cm 和 60~70 cm 土层。0~10 cm 土层的根长密度和根系生物量密度(图 1b)均较小,但由于其根系直径也较小,所以相对而言比根长在各层次中是最大的,而 10~20 cm 土层尽管根长密度是最大的,但由于其根系直径较大,生物量较大,因此最后计算的比根长反而较小,仅有 2 425.18 cm/g,仅占 0~100 cm 土层比根长的 18.83%;60~70 cm 土层的根系平均直径最大,比根长最小,说明该层次根系吸收一定的水分和养分需要投入更多的能量。

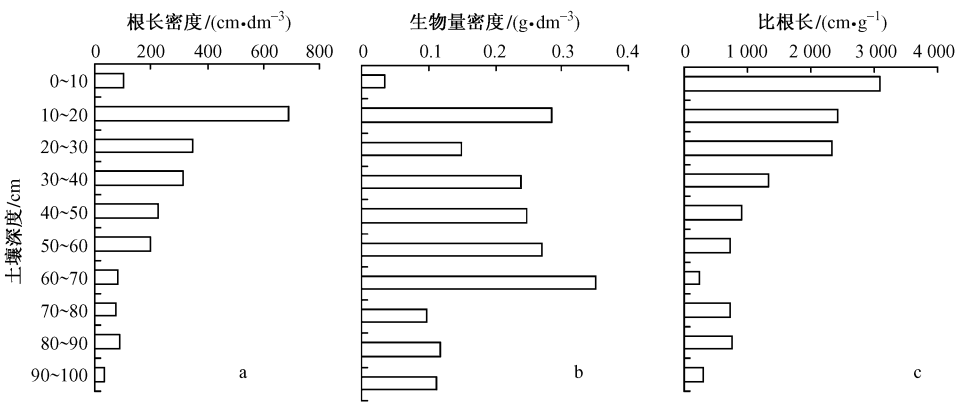


图 1 单作条件下核桃根系的垂直分布特征

FIGURE 1 Vertical distribution characteristics of *J. regia* roots under monocropping condition

3.1.2 核桃根系的水平分布规律

由图 2 可以看出:核桃根系水平分布范围可至 150 cm 处,核桃的根长密度和生物量密度在 40~50 cm 最大,50~150 cm 逐渐下降。受根长密度和生物

量密度共同作用的比根长,则在 100~110 cm 最大,其他差异不大,说明 100~110 cm 处吸水效率较高。

据统计,距树干中心位置 10~20 cm、40~50 cm、70~80 cm、100~110 cm 和 140~150 cm

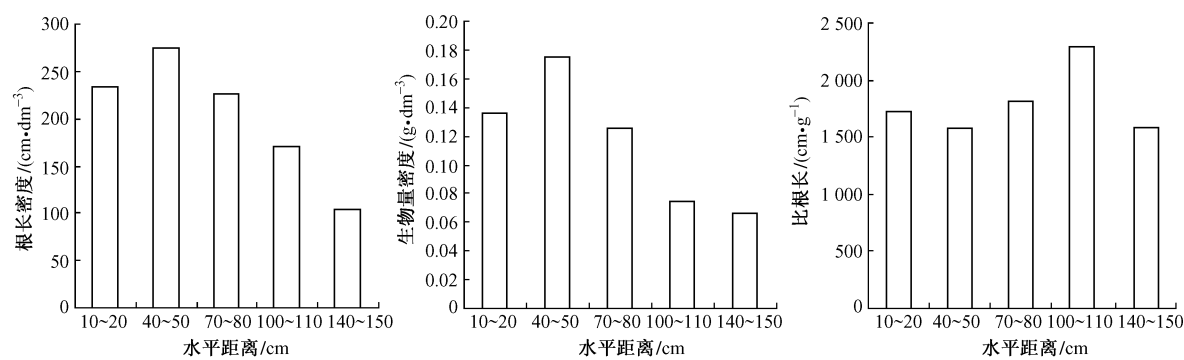


图 2 单作条件下核桃根系的水平分布特征

FIGURE 2 Horizontal distribution characteristics of *J. regia* roots under monocropping condition

范围内的核桃根长密度分别占根长密度总量的 23.12%、27.24%、22.43%、16.96%和 10.25%；不同水平距离的生物量密度分别占其总量的 23.53%、30.35%、21.67%、13.00%和 11.44%；不同水平距离的比根长分别占总量的 19.21%、17.55%、20.23%、25.49%和 17.52%。

3.2 间作条件下核桃根系的分布规律

3.2.1 核桃根系的垂直分布规律

由图 3 可以看出，根长密度和生物量密度表现出较为一致的变化规律，0~40 cm 呈现出逐步增加

的趋势，而 50~100 cm 呈现逐步下降的趋势，核桃-黄芩模式下核桃根系的垂直分布主要在 20~70 cm，此范围的根长密度占总量的 71.38%，生物量密度占总生物量密度的 65.15%。

从图 3c 可以看出，在 0~100 cm，比根长基本呈现随着土壤深度的加深而逐渐下降的垂直变化规律。相关分析表明，比根长和土壤深度之间呈现负相关性，但没有达到显著水平，分析其原因可能是由于黄芩根系垂直分布较深，对核桃根系分布造成影响所致。

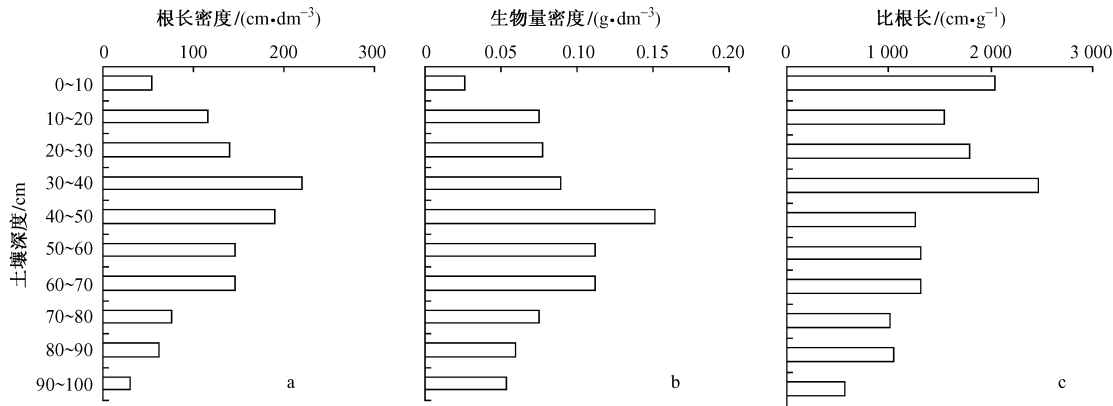


图 3 间作条件下核桃根系的垂直分布特征

FIGURE 3 Vertical distribution characteristics of *J. regia* roots under intercropping condition

3.2.2 核桃根系的水平分布规律

从核桃根系的水平分布图(图 4)可以看出：核桃根系水平延伸距离达到 150 cm，但 140~150 cm 量比较小，仅占总根长密度的 4.85% (占总生物量密度的 7.57%)；核桃根系主要分布于 0~80 cm，根长密度占总量的 82.65% (生物量密度占总量的 79.27%)。据统计，距树干中心位置 10~20 cm、40~50 cm、70~80 cm、100~110 cm 和 140~150 cm 范围内的核桃根长密度分别占根长密度总量的 20.67%、34.90%、27.09%、12.50%和 4.85%；不同水平距离的生物量密度分别占其总量的 24.90%、30.90%、23.48%、13.16%和 7.57%；不同水平距离

的比根长分别占总量的 17.65%、24.01%、24.53%、20.19%和 13.62%。

从核桃根长密度、生物量密度和比根长的水平分布来看，均表现出相对一致的变化趋势，均在 40~50 cm 处达到或接近峰值；但根长密度和生物量密度两个指标在不同水平距离间变化幅度较大，而比根长的变化幅度却较小，说明所测区段根系均具有较强的吸收功能，这可能是与黄芩间作后，为了较多的吸收水分和养分其自身的一种适应。

3.3 间作物黄芩根系的分布规律

3.3.1 黄芩根系的垂直分布规律

由图 5 可以看出，在 0~100 cm 土层内，黄芩根

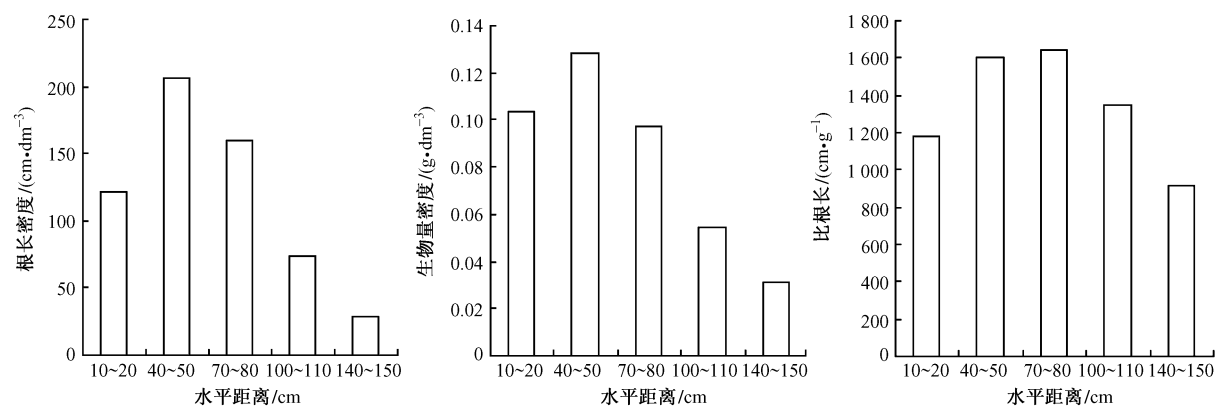


图 4 间作条件下核桃根系的水平分布特征

FIGURE 4 Horizontal distribution characteristics of *J. regia* roots under intercropping condition

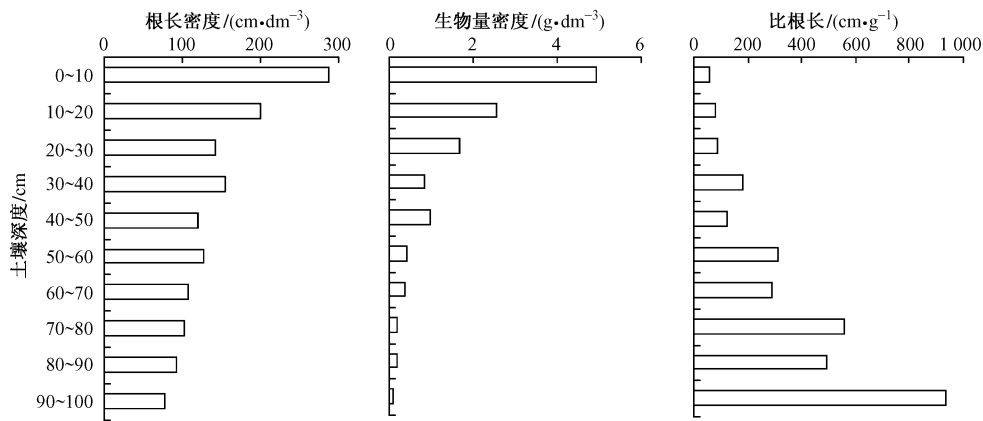


图 5 间作物黄芩根系的垂直分布特征

FIGURE 5 Vertical distribution characteristics of intercropping *S. baicalensis* roots

长密度、生物量密度和比根长均具有明显的垂直变化规律,根长密度和生物量密度随着土壤深度的加深而减小,呈现负指数型。从根长密度和生物量密度二者分析,黄芩根系主要分布于0~50 cm,分别占根长密度总量和生物量密度总量的64.08%和89.83%。其中0~10 cm分布最密集,占根长密度总量和生物量密度总量的20.44%和40.41%。

黄芩根系的比根长呈现出和核桃迥异的特征。黄芩根系的比根长随着土壤深度的加深而增加,最大值出现在90~100 cm,最小值出现在0~10 cm,呈正指数型分布。

相关分析表明,土壤深度和根长密度、生物量密度之间均达到极显著负相关;土壤深度和比根长之间达到极显著正相关。

3.3.2 黄芩根系的水平分布规律

从根长密度(图 6a)可以看出,距核桃树干中心点距离越远,黄芩的根长密度越大,最大值在140~150 cm处,最小值在10~20 cm处,说明黄芩根系受到核桃根系或地上部分遮荫等的影响,距核桃树干越远影响越小,因此其根长密度不断增加,呈正指数型分布。拟合方程复相关系数达到了0.985 3。

从生物量密度(图 6b)可以看出,根系生物量密度和根长密度的变化规律不一致,最大值和根长密度一致,出现在140~150 cm处,但最小值则出现在70~80 cm处,没有表现出一定的变化规律。距核桃主干10~50 cm由于受到核桃的强烈影响(特别是40~50 cm处,是核桃根系的集中分布区),黄芩的根长密度和比根长均较小;比根长最大值在70~80 cm处,到150 cm处随着主根逐渐增多比根长逐渐下降,呈现二次多项式的水平分布规律。

相关分析表明,除了根长密度与水平距离之间达到极显著性相关外,根系生物量密度和比根长与水平距离之间相关性均不显著。其原因主要是由于本研究取样方法和黄芩独根的地下特征两个原因共同引起的。

3.4 单作和间作条件下核桃分布特征比较分析

比较分析图 1和图 3可以看出:单作条件下核桃的根长密度和生物量密度比间作模式下大,单作条件下的核桃平均根长密度和平均生物量密度分别是相对应的间作核桃的1.84和2.29倍;但间作模式下的核桃比根长比单作下要大,是单作模式下比根长的1.11倍。由图 1和图 3还可以看出,与单作

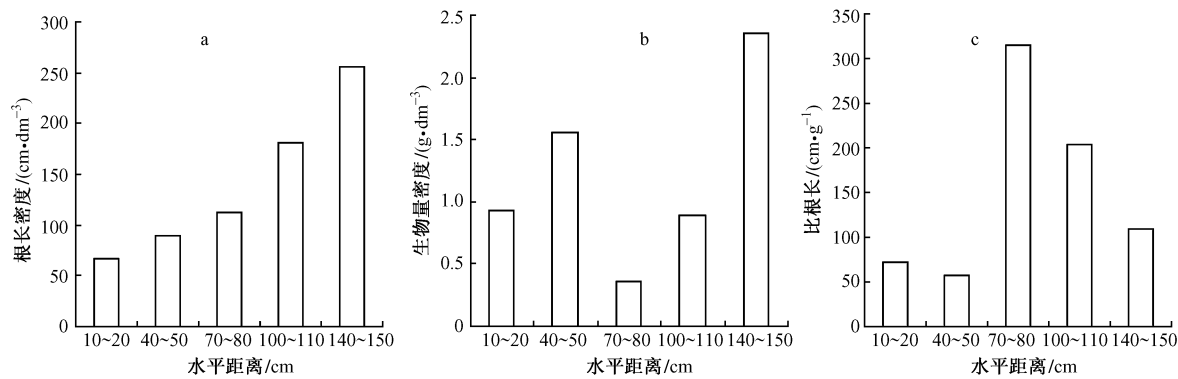


图 6 间作物黄芩根系的水平分布特征

FIGURE 6 Horizontal distribution characteristics of intercropping *S. baicalensis* roots

注：水平距离为黄芩根系距核桃树干中心点的水平距离。

模式相比,间作模式下的核桃根系有一定的下移现象,据统计,单作模式下核桃根系在 0~100 cm 范围内各层的根长密度所占比例分别为 4.76%、31.93%、16.12%、14.58%、10.38%、9.27%、3.90%、3.33%、4.08%和 1.65%,间作模式下各层所占比例分别为 4.54%、9.83%、11.80%、18.64%、16.07%、12.43%、12.45%、6.43%、5.23%和 2.59%。单作模式下根长密度峰值出现在 10~20 cm 处,而间作模式峰值出现在 30~40 cm 处。

从图 2 和图 3 可以看出:间作核桃和单作相比,核桃根系的水平伸展也受到了很大影响,单作核桃根系 72.79%的根长密度(75.55%的生物量密度)分布在 0~80 cm,尚有 10.25%根长密度(11.44%的生物量密度)分布在 140~150 cm;而间作条件下核桃根系 82.65%的根长密度(79.27%的生物量密度)分布在 0~80 cm,仅有 4.85%的根长密度(7.57%的生物量密度)分布在 140~150 cm,可见间作后使核桃根系的水平伸展距离受到限制。

4 结论与讨论

在单作和间作条件下,核桃根系整体上呈现随土壤深度加深而减小的变化趋势,但是,间作模式下的核桃根系有一定的下移现象,单作模式下根长密度峰值出现在 10~20 cm 处,而间作模式峰值出现在 30~40 cm 处;间作也影响到核桃根系的水平分布,虽然两种条件下核桃根系均可延伸至 150 cm,但单作核桃 10.25%根长密度(11.44%的生物量密度)分布在 140~150 cm,而间作核桃只有 4.85%的根长密度(7.57%的生物量密度)分布在 140~150 cm。间作还从总量和效率上影响着根系的分布,单作条件下的核桃平均根长密度和平均生物量密度分别是相对应的间作核桃的 1.84 和 2.29 倍,但间作模式下的核桃比根长比单作下要大,是单作模式下比根

长的 1.11 倍,可见,间作提高了根系对水分和养分的利用效率。

间作物黄芩的根系主要分布在 0~50 cm 土层中,其根长密度、生物量密度随着土壤深度的加深而减小,呈负指数型分布,比根长则呈随着土壤深度的加深而增加的正指数型分布规律;水平分布基本表现为距核桃树干中心点距离越远根长密度、生物量密度越大的趋势,最大值在 140~150 cm 处。

综上所述,单作和间作条件下,根系分布存在有一定差异,林带和间作物地下根系之间存在相互影响。不同植物在生长过程中,为了最大限度地获取土壤中的资源,其根系对养分的空间异质性产生了各种可塑性反应,同时环境条件也迫使根系在形态学特征上、时空分布特征上产生相应的变化^[9-12]。楚铁欧等^[13]对两种水稻品种间作效应进行了研究,指出间作根系在深层次分布较多;崔浪军等^[14]也指出混交林的根系分布相对更深、更均匀;张恩和等^[15]则从营养吸收角度认为小麦-大豆模式养分吸收高峰存在交错现象,该群体营养吸收效率较高;张劲松等^[16]、樊巍等^[17]、孟平等^[18]对苹果 (*Malus pumila*)-小麦 (*Triticum aestivum*) 间作进行的研究表明,苹果根系的垂直分布呈负指数型分布,这与本研究的结果一致,并且指出如果没有小麦的干扰,苹果根系有上移现象,本研究中核桃根系下移现象与之一致。

以上研究均说明间作物和林木之间有一定的影响,关键是正影响还是负影响,如翟明普等^[19]、刘春江等^[20]对油松 (*Pinus tabulaeformis*) 与元宝枫 (*Acer truncatum*)、紫穗槐 (*Amorpha fruticosa*)、黄栌 (*Cotinus coggygria*) 混交的研究,均认为混交林中林木的根系较纯林均匀合理,吸收根向土壤深层分布存在正效应;翟进升等^[21]对南酸枣 (*Choerospondias axillaris*) 与花生 (*Arachis hypogae*) 复合系统进行研究亦表明,

复合区比单作区入渗水多,植物蒸腾减缓,树木遮荫降温,均有利于复合系统自身土壤水分协调平衡。李会科等^[22]则进一步指出,在苹果园生草栽培体系中,小冠花(*Coronilla varia*)、百脉根(*Lotus corniculatus*)与果树根系生态位重叠较多(20~60 cm为苹果根系集中分布区),促使牧草与果树对养分和水分的竞争,而鸡脚草(*Dactylis glomerata*)、白三叶(*Trifolium repens*)、红三叶(*T. pratense*)消减系数较小,与果树根系基本呈镶嵌分布^[23]。而尹飞等^[23]通过对枣粮间作进行研究指出枣粮间作系统内间作物产量随着距枣树种植行距离的缩小而迅速降低,说明枣对粮有一定的影响;孟平等^[18]也指出间作物小麦对苹果根系有一定负影响。本研究结果显示核桃-黄芩间作模式下核桃根系的量和分布均受到一定程度的负影响,但是根系的吸水效率有所提高。

参 考 文 献

[1] SCHROTH G. Tree root characteristics as criteria for species selection and system design in agroforestry[J]. *Agroforestry Systems*, 1995, 30: 125-143.

[2] ANDERSON L S, SINCLAIR F L. Ecological interactions in agroforestry systems[J]. *Agroforestry Abstracts*, 1993, 6: 57-91.

[3] HUXLEY P A, PINNEY A, AKUNDA E, et al. A tree/crop interface orientation experiment with a *Grevillea robusta* hedgerow and maize[J]. *Agroforestry Systems*, 1996, 26: 23-45.

[4] 李鹏,赵忠,李占斌,等.渭北黄土区刺槐根系空间分布特征研究[J]. *生态环境*, 2005, 14(3): 405-409.

[5] 王进鑫,王迪海,刘广全.刺槐和侧柏人工林有效根系密度分布规律研究[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(12): 2 208-2 214.

[6] 蒋光毅,史东梅,刘玉民,等.2 种果草模式根系生态学特征研究[J]. *西南农业大学学报*, 2004, 26(2): 128-131.

[7] 张小全,吴可红, MURACH D. 树木细根生产与周转研究方法评述[J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 875-881.

[8] 朱美秋,马长明,翟明普,等.河北石质山区花椒细根分布特征[J]. *林业科学*, 2009, 45(2): 131-135.

[9] 鲁少波,刘秀萍,鲁绍伟,等.林木根系形态分布及其影响因素[J]. *林业调查规划*, 2006, 31(3): 105-108.

[10] 曾曙才,苏志尧,陈北光,等.植物根际营养研究进展[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2003, 27(6): 79-83.

[11] GROSS K L, PETER A, PREGITZER K S. Fine root growth and demographic responses to nutrient patches in four old-field plant species[J]. *Oecologia*, 1993, 95: 61-64.

[12] MOU P, MICHELL R J, JONES R H. Root distribution of two tree species under a heterogeneous nutrient environment[J]. *J Appl Ecol*, 1997, 34: 645-656.

[13] 楚铁欧,郑毅,卢国理,等.间作对水稻根系分布特征的影响[J]. *云南农业大学学报*, 2007, 22(6): 887-892.

[14] 崔浪军,梁宗锁,韩蕊莲,等.沙棘-杨树混交林生物量、林地土壤特性及其根系分布特征研究[J]. *林业科学*, 2003, 39(6): 1-7.

[15] 张恩和,黄高宝.间套种植复合群体根系时空分布特征[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(8): 1 301-1 304.

[16] 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.

[17] 樊巍,卢琦,高喜荣.果农复合系统根系分布格局与生长动态研究[J]. *生态学报*, 1999, 19(6): 80-862.

[18] 孟平,张劲松,尹昌君,等.农林复合系统与单作作物系统作物根系差异特征的研究[J]. *林业科学研究*, 2002, 15(4): 369-373.

[19] 翟明普.北京西山地区油松元宝枫混交林根系的研究[J]. *北京林业大学学报*, 1982, 4(1): 1-11.

[20] 刘春江,郭旭临,徐振泉.北京西山地区人工林油松栓皮栎混交林根系研究初报[J]. *北京林业大学学报*, 1985, 7(1): 77-84.

[21] 翟进升,周静,王明珠,等.低丘红壤南酸枣与花生复合系统种间水肥光竞争的研究——Ⅲ.南酸枣与花生利用水分状况分析[J]. *中国生态农业学报*, 2005, 13(4): 91-94.

[22] 李会科,郑秋玲,赵政阳,等.黄土高原果园种植牧草根系特征的研究[J]. *草业学报*, 2008, 17(2): 92-96.

[23] 尹飞,毛任钊,傅伯杰,等.枣粮间作养分利用与表观损失空间差异性[J]. *生态学报*, 2008, 28(6): 2 715-2 721.

(责任编辑 冯秀兰)