

# 陕西关中地区常见果粮间作树种养分循环研究

何建平<sup>1</sup>, 刘增文<sup>2,3,\*</sup>, 魏婉玲<sup>1</sup>, 陈 凯<sup>1</sup>, 迟 铭<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 农业部 黄土高原农业资源与环境修复重点开放实验室, 陕西 杨陵 712100;  
3. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**针对陕西关中地区常见的 4 种果粮间作形式进行了林木生物量、养分循环量及循环特征研究。结果表明:在 4 种果粮间作类型中,柿树的年平均生物量最高,并且果实内营养元素存留量低,适合做果粮间作树种;桃树的富集能力和吸收力最强,营养元素需求量大,但速生效果好,适合做短期速生树种。在不同间作类型中,由于树种不同,造成系统中养分循环存在很大差异,应根据实际情况选择适宜树种,进而达到最优配置,创造最优的经济和生态效益。

**关键词:**果粮间作;养分循环;生物量

中图分类号:S718.554.2      文献标志码:A      文章编号:1001-7461(2011)03-0062-06

## Nutrient Cycling of Common Fruit Trees Interplanting with Crops in Shaanxi Guanzhong Region

HE Jian-ping<sup>1</sup>, LIU Zeng-wen<sup>2,3</sup>, WEI Wan-ling<sup>1</sup>, CHEN Kai<sup>1</sup>, CHI Ming<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Resources and Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Yangling, Shaanxi 712100, China;  
3. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Four species of fruit tree that are interplanted with grain crops in Guanzhong region, Shaanxi Province, China were used as research objects to study biomass, nutrient cycling and circulation characteristics. The results showed that among four species, the annual average biomass of *Diospyros kaki* was the highest, the retention level of the nutrients was lower than others, suitable for being interplanted with grain crops. *Amygdalus persica* exhibited the strongest capability to enrich and absorb nutrients, demanding large amount nutrient elements, suitable to be used as a short-term fast-growing species for its fast growing character. *Juglans regia* could grow in lean soil. Significant differences were found in nutrient cycling among different fruit trees species, indicating that rational consideration should be taken to select fruit tree species based on actual situations to create the best economic and ecological benefits in developing fruit tree-grain crop interplanting.

**Key words:** fruit trees-crop interplanting; nutrient circulation; biomass

农林复合生态系统是指同一土地上将林木与作物结合而形成的土地利用系统,把林木和作物有机结合为一体,充分发挥各组分作用,提高土地生产力和产品产出率,达到最大的生态、经济和社会效益<sup>[1]</sup>。对农林复合生态系统的研究国外主要偏重于

基础理论,侧重于从树木和作物的生理角度来探讨农林复合生态系统。国内主要集中于农林复合系统中林木对小气候的调节、改善土壤水分条件和农林复合结构与配置等方面的研究<sup>[2-4]</sup>。关于林木养分积累与分配规律、养分循环过程与动态方面的研究

收稿日期:2010-08-29    修回日期:2010-11-11  
基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2009JM3014);西北农林科技大学人才计划项目(01140302);国家自然科学基金项目(30471376)  
作者简介:何建平,男,在读硕士研究生,主要从事森林生态研究。  
\*通讯作者:刘增文,男,博士,教授,主要从事森林生态与水土保持研究。E-mail:zengwenliu2003@yahoo.com.cn。

很少。由于在农林复合生态系统中,养分循环在维持复合生态系统稳定和生产力功能方面起着重要的作用<sup>[5]</sup>,并且养分循环利用是设计农林复合经营模式时考虑的中心问题,如果树种选择不当,不但会影响林木生长、作物产量等经济效益,还会对农田土壤造成危害,影响农林复合系统生态效益的发挥。农林复合系统是关中地区农业发展的新模式,其对改善渭北地区原生态环境、提高土地生产力发挥着重要作用。通过对陕西关中地区常见果粮间作类型中树木养分循环利用规律进行研究,筛选种间关系协调的复合类型,使其应用于陕西渭北地区果粮间作的改造和重建,保证复合系统中林木和作物的协调生长,充分发挥复合系统的经济和生态效益。

1  材料与方法

1.1  研究区概况

  试验地位于陕西杨陵北部的大寨乡,海拔 431~563 m,属暖温带半湿润季风气候,年平均气温为 12.9℃,年日照时数 2 163.8 h。年降水量 631.0 mm,年蒸发量 1 100 mm 左右。土壤为壤质瘠土。该地常见的果(林)粮间作树种主要有柿树(*Diospyros kaki*)、桃树(*Amygdalus persica*)、花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)、香椿(*Toona sinensis*)、樱桃(*Cerasus pseudocerasus*)、核桃(*Juglans*

*regia*)、李子(*Prunus salicina*)、杏树(*Armeniaca vulgaris*)、桑树(*Morus alba*)、苹果(*Malus pumila*)、梨树(*Pyrus bretschneideri*);作物有小麦、玉米、花生等。

1.2  方法

1.2.1  样地设置  在研究区内选取核桃—小麦、柿树—小麦、桃树—小麦和梨树—小麦等 4 种具有典型代表性的果粮间作类型作为研究对象。于 2009 年秋季树木生长末期,选取土壤和立地环境条件基本相同、树龄基本接近的以上 4 种果粮间作农田为样地,样地面积为 50 m×50 m。分别对每块样地进行树木每木检尺,测定平均年龄、胸径、树高、冠幅和密度,同时测定林下农田耕作层 0~20 cm 的土壤容重(表 1)。

1.2.2  果粮间作树种生物量测定及植物、土壤样品采集  在每种果粮间作类型的样地内,确定 5 株生长健康并具代表性的平均木,采用标准株(枝)法测算林木单株地上部分生物量。具体测算方法为:叶:标准细枝的叶生物量×标准细枝的数量;直径<1 cm(带皮)的细枝:标准细枝的生物量×标准细枝的数量;直径>1 cm(带皮)的粗枝:标准粗枝(带皮)的生物量×标准粗枝的数量;树皮:单位面积树皮的生物量×树皮总面积;干材(不带皮):标准干材(不带皮)的生物量×标准干材的数量。

表 1  陕西关中地区果粮间作样地基本情况

Table 1  The basic situation of investigation plots on fruit tree-crop intercropping system in Guanzhong region of Shaanxi

果粮间作 类型	果粮间作 树种	平均树木 年龄/a	平均胸径 /cm	平均树高 /m	平均冠幅 /m	株行距 /m	密度 /(株·hm <sup>-2</sup> )	林下耕层土壤容重 /(g·cm <sup>-3</sup> )
核桃—小麦	核桃	10	12.47	4.56	3.78	4.3×5.3	439	1.32
柿树—小麦	柿树	11	12.30	4.75	2.40	2.5×3.9	1 026	1.29
桃树—小麦	桃树	7	8.47	2.30	3.50	2.0×2.9	1 768	1.37
梨树—小麦	梨树	12	8.00	2.50	2.00	2.5×2.0	2 000	1.26

在生物量测定的同时,按不同器官分别采集植物样品。其中,叶片和枝条(分为直径<1 cm 和直径>1 cm)在树冠中部东、南、西、北 4 个方向混合采样;树皮和干材在树干中部东、南、西、北 4 个方向混合采样。把采集回来的植物样品在 85℃ 下烘干后粉碎过 1 mm 筛,装袋密封备用。

在 5 株平均木下(离树基 0.5 m)用 5 点剖面混合采样法,采集耕作层 0~20 cm 土壤样品,自然风干后过 1 mm 筛备用。

1.2.3  植物、土壤样品养分含量测定  植物样品中,N 含量采用半微量凯氏定氮法测定;P 含量采用钼锑钨分光光度法测定;K 含量采用火焰光度计法测定<sup>[6]</sup>。

土壤样品中,碱解 N 含量采用半微量凯氏定氮

法测定;速效 P 含量采用 NaHCO<sub>3</sub> 比色法测定;速效 K 采用 NH<sub>4</sub>OAC 浸提—火焰光度计法测定<sup>[6]</sup>。

1.2.4  果粮间作树种养分循环通量测算  根据生物量和养分含量测定结果分别计算养分循环通量。

养分在树木器官中的积累量为生物量与其养分含量的乘积;

养分在土壤中的积累量为耕作层 0~20 cm 土壤质量(土壤体积与土壤容重的乘积)与土壤速效养分含量的乘积;

养分在树木中的年存留量为年生物量增长量(即年生产力)与其养分含量的乘积;

树木养分年归还量为年凋落物量与当年凋落物中的养分含量的乘积;

树木养分的年吸收量,根据“吸收=存留+归

还”的平衡关系计算。

养分吸收系数(%)=树木年吸收的养分量/养分在土壤中的积累量×100%

养分归还系数(%)=树木每年凋落归还土壤的养分量/年吸收的养分量×100%

养分富集系数(%)=树木年存留养分量/养分在土壤中的积累量×100%

2 结果与分析

2.1 不同果粮间作类型中林木生物量特征

由表 2 知,柿树—小麦类型林木的年均生产力最高,可达 15.179 t·hm<sup>-2</sup>,桃树—小麦次之,核桃—小麦最低,仅为 3.034 t·hm<sup>-2</sup>。柿树的年均生产力比核桃高 500%,比桃树和梨树分别高 260%和

169%。林木地上部分生物量在不同营养器官中的分配比率为果(60.73%)>叶(20.62%)>枝(14.16%)>干(4.33%)>皮(1.52%)。果的分配比率中,柿树最大(83.19%),核桃(48.98%)次之,桃树最小(39.41)。叶的分配比率为,梨树(38.44%)>桃树(31.92%)>核桃(27.75%)>柿树(5.68%)。同一树种地上部分生物量在不同营养器官的分配比率差异很大,如柿树果的分配比率为 83.19%,而树皮仅占 0.01%,桃树干的生物量最大,为 0.53 t·hm<sup>-2</sup>,是核桃的 2.6 倍;桃树枝和叶的生物量也最大,但皮的生物量最小,仅为 0.000 57 t·hm<sup>-2</sup>;柿树果的生物量最大,为 12.628 t·hm<sup>-2</sup>,是核桃的 8.5 倍,是梨树的 5.3 倍,是桃树的 3.6 倍。

表 2 果粮间作树种生物量及年均生产力

果粮间作 树种	树龄/a	林木生物量/(t·hm <sup>-2</sup> )							年生产力 /(t·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
		干	叶	粗枝	细枝	树皮	果	合计	
核桃	10	2.065	0.842	3.808	1.066	0.123	1.486	9.390	3.034
柿树	11	4.807	0.862	12.065	1.528	0.191	12.628	32.080	15.179
桃树	7	3.710	2.865	11.107	3.183	0.004	3.537	24.404	8.973
梨树	12	3.088	2.240	5.614	5.300	0.242	2.400	18.884	5.827

2.2 不同果粮间作类型中林木及林下耕作层土壤养分含量

植物中营养元素的分布特征一方面反映了植物自身的特性,是植物长期演化的结果;另一方面,土壤肥力状况是影响植物生长发育及元素分布的重要因素<sup>[7-11]</sup>。由于植物不同器官的生理机能不同,不

同营养元素在植物体内的功能不同,营养元素在植物不同器官及不同营养元素在同一器官中的分布也有差异<sup>[12]</sup>。表 3 表明,4 种果树中,地上部分各器官 N、P、K 含量总和和排序为柿树(126.511 g·kg<sup>-1</sup>)>桃树(116.574 g·kg<sup>-1</sup>)>核桃(109.132 g·kg<sup>-1</sup>)>梨树(100.689 g·kg<sup>-1</sup>)。

表 3 果粮间作树种地上部分各器官及林下农田耕作层土壤营养元素含量

果粮间作 树种	营养 元素	叶 /(g·kg <sup>-1</sup> )	果 /(g·kg <sup>-1</sup> )	细枝 /(g·kg <sup>-1</sup> )	粗枝 /(g·kg <sup>-1</sup> )	干 /(g·kg <sup>-1</sup> )	树皮 /(g·kg <sup>-1</sup> )	土壤 /(0~20cm) (mg·kg <sup>-1</sup> )
核桃	N	24.815	17.638	15.706	5.772	5.772	7.957	993.600
	P	1.277	2.901	1.577	0.628	0.628	0.686	0.005
	K	4.196	10.178	6.787	0.550	0.550	1.514	103.583
柿树	N	18.332	6.799	13.308	5.123	5.123	24.707	1 143.400
	P	1.200	6.096	1.266	0.444	0.444	1.472	0.005
	K	21.130	6.889	8.161	1.153	1.153	3.711	108.765
桃树	N	25.164	13.732	14.798	3.318	3.318	10.809	1 065.300
	P	1.773	5.627	1.073	0.463	0.463	0.944	0.032
	K	9.868	17.478	3.120	0.547	0.547	3.453	220.236
梨树	N	20.391	11.330	5.494	10.902	10.902	7.495	1 374.000
	P	1.216	4.597	1.150	0.436	0.436	0.587	0.034
	K	4.775	13.503	3.540	1.498	1.498	0.939	274.483

同林木不同器官主要营养元素含量存在差异,其中,树叶的营养元素含量为 134.137 g·kg<sup>-1</sup>,高于其他器官,树干中营养元素含量最低,仅

为 30.835 g·kg<sup>-1</sup>。果实中 P、K 元素含量最高,有的甚至高于其他器官几十倍,如桃树果中 K 含量为 17.478 g·kg<sup>-1</sup>,而树干中仅为 0.547 g·kg<sup>-1</sup>,二

者相差 32 倍(表 3)。

在不同果粮间种类型中,林木养分元素的含量存在差异,其中柿树果实 N、P、K 含量几乎相等且较低,为 6~7 g·kg<sup>-1</sup>。桃树果实中 N、K 含量较高。不同树种在不同时期对营养元素的需求不同,核桃对 N 的需求较高,且在各器官中的含量也最高,为 77.659 g·kg<sup>-1</sup>,高于柿树(73.392 g·kg<sup>-1</sup>)、桃树(71.139 g·kg<sup>-1</sup>)和梨树(66.513 g·kg<sup>-1</sup>)。

由表 4 可知,4 种果粮间种类型林下 0~20 cm 农田耕作层养分元素含量顺序为梨树>桃树>柿树>核桃。其中,梨树林下土壤养分元素储量是核桃、柿树和桃树的 1.46 倍、1.31 倍和 1.18 倍。各树种 N 含量均最高,P 含量最低。桃树林下土壤 P 含量最高,核桃林下土壤 N、P、K 含量均最低。从表 3 可知,核桃地上部分养分元素的含量较高,因此,核桃林下土壤较为贫乏,需另外施肥保证其产量。

表 4 果粮间作系统中林下农田耕作层  
(0~20 cm)土壤养分元素贮量

Table 4 The nutrient elements reserves in soil layer about 0~20 cm in trees-crops systems kg·hm <sup>-2</sup>				
果粮间作 树种	主要养分元素贮量			
	N	P	K	合计
核桃	6 541.265	34.871	681.919	7 258.055
柿树	7 355.827	36.417	699.724	8 091.968
桃树	7 270.828	219.592	1 503.108	8 993.528
梨树	8 656.471	215.236	1 729.245	10 600.952

2.3 不同果粮间作类型中林木养分循环特征

养分循环是林下土壤和植物间养分元素的流动过程,是通过林木的吸收、存留和归还 3 个不同的生理生态学过程来维持平衡<sup>[10,11,13-15]</sup>。4 个树种对于 N 的吸收量最大,其次是 K,对 P 的吸收量最少(表 5)。可见,这 4 个树种对 N 元素的需求量最大。总体来说,N 的归还量最大,有 66.8%归还于土壤,而 P 的存留量最大,有 47.3%都存留在林木体内。桃树对 3 种营养元素的吸收量最大,其中所吸收的 N 元素有 70.0%通过枯枝落叶归还于土壤,30.0%存留于体内;但梨树所吸收的 N 元素有 73.3%归还于土壤,所吸收的 P 有 57.9%归还于土壤;柿树吸收的 N 有 55.1%存于体内;核桃对 P、K 的吸收量分别有 50.2%和 45.3%存于体内。

由表 6 可知,4 个树种的吸收系数顺序为桃树(1.75%)>柿树(0.93%)>梨树(0.79%)>核桃(0.54%)。桃树的吸收系数是核桃的 3.21 倍,且桃树对 N 的吸收系数最高,为 1.42%;存留系数为柿树(53.24%)>核桃(35.24%)>桃树(32.82%)>梨树(29.56%);富集系数表征植物元素含量与土壤元素

含量的关系,体现双方共同作用、互相影响的结果<sup>[7]</sup>,4 个树种富集系数顺序为桃树>柿树>梨树>核桃,桃树的富集系数分别是其他 3 个树种 3.0 倍、1.2 倍和 2.4 倍。桃树对 N 的富集能力强,对 P 的富集能力较强,对 K 的富集能力较弱。生物循环系数反映了元素在循环过程中的残留量大小,循环系数越大,表明元素循环速率越快,系统中存留量的比例越小,而流动性越大<sup>[10]</sup>,循环系数顺序为梨树(70.44%)>桃树(67.18%)>核桃(64.76%)>柿树(46.76%),可见,梨树对营养元素的循环速率较快,甚至超出了对营养元素要求较高的桃树。归还系数顺序与循环系数一致,归还系数大于存留系数,说明植物吸收的养分元素大部分归还土壤,体现了对养分元素的高速循环利用特征<sup>[16-17]</sup>,其中 N 的归还最高可达 73.40%,P 为 57.87%,K 为 64.61%。

表 5 果粮间作树种养分元素的年循环量  
Table 5 Annual cycling volume of nutrient elements of  
four tree species in trees-grain crop systems  
kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>

项目	养分元素	果粮间作树种			
		核桃	柿树	桃树	梨树
吸收量	N	30.790	35.170	103.082	62.231
	P	2.160	1.831	10.115	4.706
	K	6.466	30.734	43.752	16.957
归还量	N	20.906	15.794	72.088	45.676
	P	1.076	1.034	5.078	2.723
	K	3.535	18.203	28.268	10.697
存留量	N	0.873	19.376	30.994	16.555
	P	1.084	0.797	5.037	1.983
	K	2.931	12.530	15.484	6.261

3 结论与讨论

在该地常见的果粮间作类型中,柿树一小麦系统林木的生物量最高,桃树次之,核桃最低。这与树种特性、林分的生长发育时期、林分密度及田间管理等有关<sup>[12]</sup>。林木地上部分生物量在各器官间的分配比例为果>叶>枝>干>皮,但同一树种地上部分生物量在不同营养器官的分配比率差异很大,同一器官在不同的树种其所占比例也不同。其中,果实的分配比率为柿树最大,核桃次之,桃树最小。叶的分配比率为梨树>桃树>核桃>柿树。由于果实是主要产出,体现其重要的经济价值,所以其分配比率最大,而叶是植物进行光合作用的主要器官,是植物进行自养的主要场所,对果实的形成有重大影响,所以叶片次之。这一顺序与经济林和其他林木的各器官间生物量分配有差异,赵勇研究的侧柏各器官间的生物量分配排序为:树干>树根>树皮>树枝>树叶<sup>[18]</sup>。刘增文研究的沙棘生物量在各器官的

分配比率随树龄的增长呈规律性的变化<sup>[19]</sup>。

柿树地上部分各器官内营养元素含量总和最高,但果实中 N、P、K 含量几乎相等且较低,所以适合做农林复合树种;而桃树果实中 N、K 的含量偏高,由于果实不能参与生态系统的营养元素再循环,所以长期种植桃树势必导致营养元素的大量流失,从而引起土壤理化性质的改变并导致林地生产力下降,影响林

下作物的生产力。但由于桃树是速效经济作物,3 a 内就可以有经济收入,所以在农林复合选取中也予以考虑,适合做果农短期复合型。植物体内不同组分的营养元素含量差异主要是由于植物体内各组分生理活性不同引起的,但营养元素浓度的差异并非是造成各营养元素贮量间差异较大的主要原因,而是由于不同组分间生物量的差异所致<sup>[20]</sup>。

表 6 不同类型果粮间作树种养分元素循环特征系数

Table 6 Characteristic parameters of element cycling of four fruit tree species in fruit tree-grain crop systems

项目	果粮间作类型	树种	主要营养元素的循环特征值			
			N	P	K	合计
吸收系数/%	核桃—小麦	核桃	0.471	6.194	0.948	0.543
	柿树—小麦	柿树	0.478	5.029	4.392	0.926
	桃树—小麦	桃树	1.418	4.606	2.911	1.745
	梨树—小麦	梨树	0.719	2.186	0.981	0.791
存留系数/%	核桃—小麦	核桃	32.076	50.192	45.332	35.245
	柿树—小麦	柿树	55.092	43.543	40.768	53.236
	桃树—小麦	桃树	30.067	49.794	35.391	32.823
	梨树—小麦	梨树	26.603	42.128	36.921	29.559
富集系数/%	核桃—小麦	核桃	0.151	3.109	0.430	0.191
	柿树—小麦	柿树	0.263	2.190	1.791	0.493
	桃树—小麦	桃树	0.426	2.294	1.030	0.573
	梨树—小麦	梨树	0.191	0.921	0.362	0.234
循环系数/%	核桃—小麦	核桃	67.924	49.808	54.668	64.755
	柿树—小麦	柿树	44.908	56.457	59.232	46.765
	桃树—小麦	桃树	69.933	50.206	64.609	67.178
	梨树—小麦	梨树	73.397	57.872	63.080	70.441
归还系数/%	核桃—小麦	核桃	67.924	49.808	54.668	64.755
	柿树—小麦	柿树	44.908	56.457	59.232	46.765
	桃树—小麦	桃树	69.933	50.206	64.609	67.178
	梨树—小麦	梨树	73.397	57.872	63.080	70.441

4 个树种林下 0~20 cm 农田耕作层营养元素现存量为梨树>桃树>柿树>核桃,年吸收量和归还量都为桃树>梨树>柿树>核桃。由于桃树所处的环境和立地条件都好于其他树种,所以其生长状况表现突出,但果粮长期连作势必导致土壤中 P、K 的缺乏,需要施加肥料来补充土壤中的营养元素。果树所需要的营养元素主要通过根系从土壤中吸收,并根据其需求量在体内进行适度的积累<sup>[21]</sup>。植物中养分元素含量与土壤中养分含量之间的关系,反映了植物与土壤之间营养物质交换的特点。植物中营养元素含量取决于植物种类和器官,也与土壤中可供给元素的量密切相关<sup>[22]</sup>。由于不同树种对 N、P、K 需求量不同,造成对物质吸收利用的选择性和对环境效应的特殊性,所以经过长期的吸收,土壤中 N、P、K 含量会出现明显的差异<sup>[23]</sup>。

桃树的富集能力和吸收力最大,且对营养元素的要求最高,因其速效性,所以桃树适合做果农短期复合型树种。柿树的指标均处于中间状态,最适合做林粮间作树种。

参考文献:

[1] 张均营,吴炳奇,刘亚民. 农林复合生态系统优化模式研究[J]. 生态农业研究,1998,6(3):55-58.  
ZHANG J Y, WU B Q, LIU Y M. Optimal models of agro-forestry ecosystem[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 1998, 6(3):55-58.

[2] 孟平,张劲松,樊巍,等. 农林复合生态系统研究[M]. 北京:科学出版社,2004. 3-8.

[3] 李杰,彭方仁,黄宝龙. 农林复合系统种群互作研究进展[J]. 世界林业研究,1999,12(5):10-14.  
LI J, PENG F R, HUANG B L. Advances in interactions among species in agroforestry systems[J]. World Forestry Research, 1999, 12(5):10-14.

[4] 高国治,王明珠,张斌. 低丘红壤南酸枣-花生复合系统物种间水肥光竞争的研究——Ⅱ. 南酸枣与花生利用光能分析[J]. 中国生态农业学报,2004,12(2):92-94.  
GAO G Z, WANG M Z, ZHANG B. Competition of absorbing water, fertilizer and light between *Choerospondias axillaries* trees and peanut in the red soil of low hilly land——The light use conditions of *Choerospondias axillaries* trees and peanut [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2004, 12(2):92-94.

[5] 蔡崇法,王峰,丁树文,等. 间作及农林复合系统中植物组分间养分竞争机理分析[J]. 水土保持研究,2000,7(3):219-221.  
CAI C F,WANG F,DING S W, *et al.* Nutrients competition and its action mechanism between component parts in inter cropping systems and agroforestry[J]. Research of Soil and Water Conservation,2000,7(3):219-221.

[6] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2007. 42-106.

[7] 彭少麟. 恢复生态学与退化生态系统的恢复[J]. 中国科学院院刊,2000(2):188-192.

[8] 张希彪,郭小强,周天林,等. 子午岭种子植物区系分析[J]. 西北植物学报,2004,24(2):267-274.  
ZHANG X B,GUO X Q,ZHOU T L, *et al.* Floristic analysis of seed plants in Ziwuling Forest Region[J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2004,24(2):267-274.

[9] 聂道平. 森林生态系统营养元素的生物循环[J]. 林业科学研究,1993,30(1):34-42.  
NEI D P. Biological cycling of the nutrient elements in forest ecosystems[J]. Forest Research,1993,30(1):34-42.

[10] 刘广全,土小宁,赵士洞. 秦岭松栎林带生物量及营养元素的生物循环特征研究[J]. 林业科学,2001,37(1):28-36.  
LIU G Q,SHI X N,ZHAO S D. Distributional characteristics on biomass and nutrient elements of pine-oak forest belt in Mt. Qinling[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2001,37(1):28-36.

[11] 黄建辉,陈灵芝,韩兴国. 辽东栎枝条分解过程中几种主要营养元素的变化[J]. 植物生态学报,1998,22(5):398-402.  
HUANG J H,CHEN L Z,HAN X G. Changes of nutrient concentration during the decomposition process of oak twigs [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 1998,22(5):398-402.

[12] 张希彪,上官周平,黄土丘陵区主要林分生物量及营养元素生物循环特征[J]. 生态学报,2005,25(3):527-537.  
ZHANG X B,SHANGGUAN Z P. The bio-cycle patterns of nutrient elements and stand biomass in forest communities in hilly loess regions[J]. Acta Ecologica Sinica, 2005,25(3): 527-537.

[13] 屠梦照,姚文华,翁轰. 鼎湖山常绿阔叶林凋落物特性[J]. 土壤学报,1993,30(1):34-42.  
TU M Z,YAO W H,WENG H. Characteristics of litter in evergreen broadleaved forest of the Dinghu Mountain[J]. Acta Pedologica Sinica, 1993,30(1):34-42.

[14] 杨玉盛,林鹏,郭剑芬. 格氏栲天然林与人工林凋落物数量、养分归还及凋落叶分解[J]. 生态学报,2003,23(7):1278-1289.  
YANG Y S,LIN P,GUO J F. Litter production, nutrient return and leaf-litter decomposition in natural and monoculture plantation forests of *Castanopsis kawakamii* in subtropical China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003,23(7):1278-1289.

[15] 何池全,赵魁义. 毛果苔草湿地营养元素的积累、分配及其生物循环特征[J]. 生态学报,2001,21(12):2075-2080.  
HE C Q,ZHAO K Y. The accumulation,allocation and biological cycle of the nutrient elements in *Carex lasiocarpa* wetland[J]. Acta Ecologica Sinica,2001,21(12):2075-2080.

[16] 刘增文,赵先贵. 森林生态系统养分循环特征参数研究[J]. 西北林学院学报,2001,16(4):21-24.  
LIU Z W,ZHAO X G. On the characteristic parameters of nutrient cycling in forest ecosystem[J]. Journal of Northwest Forestry College,2001,16(4):21-24.

[17] 刘增文,李玉山,刘秉正,等. 黄土残塬沟壑区刺槐人工林生态系统的养分循环与动态模拟[J]. 西北林学院学报,1998,13(2):34-40.  
LIU Z W,LI Y S,LIU B Z,*et al.* Nutrient cycling and trend modeling of black locust plantation ecosystem in gullied loess plateau area [J]. Journal of Northwest Forestry College, 1998,13(2):34-40.

[18] 赵勇,樊巍,吴明作,等. 太行山地区侧柏人工林主要养分元素分配及循环特征[J]. 水土保持学报,2009,23(2):143-147.  
ZHAO Y,FAN W,WU M Z, *et al.* The nutrient allocation and cycling pattern in the *Platycladus orientalis* plantation in hilly region of Taihang Mountains[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2009,23(2):143-147.

[19] 刘增文,高国雄,吕月玲,等. 不同立地条件下沙棘种群生物量的比较与预估[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2007,31(1):37-41.  
LIU Z W,GAO G X,LIU Y L,*et al.* Comparison of biomass and its estimation of *Hippophae rhamnoides* L. under different climatic and soil conditions[J]. Journal of Nanjing Forestry Universty; Natural Sciences Edition, 2007,31(1), 37-41.

[20] 何池全,赵魁义. 毛果苔草湿地营养元素的积累、分配及其生物循环特征[J]. 生态学报,2001,21(12):2075-2080.  
HE C Q,ZHAO K Y. The accumulation,allocation and biological cycle of the nutrient elements in *Carex lasiocarpa* wetland[J]. Acta Ecologica Sinica,2001,21(12):2075-2080.

[21] 高甲荣,张东升,肖斌,等. 黄土区油松人工林生态系统营养元素分配格局和积累的研究[J]. 北京林业大学学报,2002,24(1):26-30.  
GAO J R,ZHANG D S,XIAO B, *et al.* Nutrient distribution and accumulation pattern of Chinese pine plantation ecosystems in the loess region[J]. Journal of Beijing Forestry University,2002,24(1):26-30.

[22] 张晓娟,魏天兴,荆丽波,等. 晋西黄土区天然次生林营养元素分配与积累研究[J]. 北京林业大学学报,2008,30(3):57-62.  
ZHANG X J,WEI T X,JING L B, *et al.* Nutrient distribution and accumulation patterns of natural secondary forests on the Loess Plateau of Shanxi Province[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2008,30(3):57-62.

[23] 刘增文,李雅素,刺槐人工林养分利用效率[J]. 生态学报,2003,23(3):444-449.  
LIU Z W,LI Y S, A study on the efficiency of nutrient utilization in black locu at plantation[J]. Acta Ecologica Sinica, 2003,23(3):444-449.