

枣粮间作养分利用与表观损失空间差异性

尹 飞^{1,2,3}, 毛任钊², 傅伯杰^{1,*}, 刘小京², 张秀梅²

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085;

2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 石家庄 050021; 3. 河南科技大学, 洛阳 471003)

摘要:基于枣粮间作复合生态系统内部异质性,通过在系统内不同位置采样,分析了枣粮间作系统内间作作物产量、氮磷营养元素利用与表观损失方面的空间差异性,并对枣粮间作、枣树单作和农田 3 种生态系统进行了比较。结果表明:(1)枣粮间作系统内间作作物产量随着距枣树种植行距离的缩小而迅速降低,表现出明显的空间差异性。虽然与农田生态系统比较,间作小麦、玉米均表现减产,经济产量分别降低 11.4%、39.9%,但整个枣粮间作系统提高了土地利用程度;(2)枣粮间作系统间作作物吸收氮磷量也呈现明显空间差异性,且与间作作物生物量有极显著相关性。3 种生态系统相比,吸氮量为枣粮间作 > 枣树单作 > 农田;吸磷量为农田 > 枣粮间作 > 枣树单作;(3)枣粮间作系统内氮磷表观损失量有明显的空间差异性,距枣树种植行 0.25m 处表观损失量显著高于其它位置表观损失量,在距枣树种植行 6.5m 到 2m 范围内,随着与枣树种植行的接近,氮磷表观损失量有所降低。3 种生态系统相比,氮、磷表观损失量均为枣树单作 > 农田 > 枣粮间作。

关键词:枣粮间作;养分利用;养分表观损失;空间异质性

文章编号:1000-0933(2008)06-2715-07 中图分类号:Q143,Q948,S344.2,S665.1 文献标识码:A

Horizontal variation of nutrient uptake and apparent loss in jujube/crop intercropping ecosystem

YIN Fei^{1,2,3}, MAO Ren-Zhao², FU Bo-Jie^{1,*}, LIU Xiao-Jing², ZHANG Xiu-Mei²

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, CAS, Beijing, 100085, China

2 Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, CAS, Shijiazhuang 050021, China

3 Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(6): 2715 ~ 2721.

Abstract: The jujube/crop intercropping ecosystem (JIE) is an important pattern of agro-forestry and distributed widely in North China. The researches are still lacking in the spatial variation of crop yield, nitrogen (N) and phosphorus (P) uptake and apparent loss within JIE. In order to understand the spatial heterogeneity of the intercropping ecosystem, the experiment were carried out at village Dashujin, Nanpi County, Hebei Province during 2005 — 2006. The soil and plant samples were collected from different site in JIE, i. e. 0.25, 1, 2, 3, 4.5 m and 6.5 m away from the jujube row. And these parameters of the JIE were also compared with the ones in jujube mono-cropping ecosystem (JME) and farmland ecosystem (FE). The results showed that there was an evident horizontal variation of crop yield in JIE. The crop yield decreased obviously closing to jujube row. Compared with FE, there was an 11.4% and 39.9% decrease, respectively, in

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(2005CB121106);国家自然科学基金资助项目(40621061)

收稿日期:2007-03-21; **修订日期:**2007-11-07

作者简介:尹飞(1978 ~),男,河南安阳人,博士,主要从事旱作农业和农田生态系统可持续管理研究. E-mail: feiyin@yeah.net

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: bfu@mail.rcees.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Basic Research Program of China (No. 2005CB121106) and National Natural Science Foundation of China (No. 40621061)

Received date: 2007-03-21; **Accepted date:** 2007-11-07

Biography: YIN Fei, Ph. D., mainly engaged in rain-fed agriculture and farmland ecosystem sustainable management. E-mail: feiyin@yeah.net

the grain yield of wheat and maize in JIE. However, the whole JIE increased the land using efficiency. The horizontal variation of N and P uptake was apparent in JIE. And there was a significant positive relationship between crop dry matter production with N and P uptake ($P < 0.01$) in JIE. The order of the quantity of N uptake was JIE > JME > FE and for P it was in the order of FE > JIE > JME. The results also showed that in JIE the N and P apparent loss varied with the distance from the row of jujube trees. The highest value of N and P apparent loss was located at 0.25m away from the jujube. From 6.5m to 2m away from the jujube, N and P apparent loss decreased mildly. The order of the quantity of N and P apparent loss was JME > FE > JIE. JIE increased land using efficiency and decreased N and P apparent loss in the study area. But it was an ecosystem with great spatial heterogeneity, which required adjusting the field management to the different area in JIE.

Key Words: jujube/crop intercropping ecosystem; nutrient uptake; nutrient apparent loss; spatial heterogeneity

枣粮间作复合生态系统因为枣树(*Ziziphus jujuba* Mill)叶小枝疏、遮荫范围小以及枣粮物候期交错、需求矛盾较小等原因,在我国得到大力发展,已成为我国主要的农林间作复合生态系统模式之一^[1],特别在华北有着广泛的分布,在盐碱、干旱等贫瘠土壤条件地区的生态环境建设中具有十分重要的生态意义^[2]。前人对枣粮复合生态系统做了大量研究,主要集中于枣树生物学和生理学^[3~5]、间作系统结构、种间关系、小气候、生态和经济效益等方面^[2,6~10],而对于枣粮间作这种异质性系统内部土壤养分空间利用与表观损失方面的研究却鲜见报道。本文通过研究枣粮间作复合生态系统内部生产力、养分利用与表观损失方面的空间差异性,以期对枣粮间作系统科学管理提供依据,为其它农林间作模式的可持续管理研究做出有益的探索。

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况和采样点设置

试验于 2005—2006 年在河北省南皮县大树金村进行。试验区属暖温带半干旱季风气候,年平均降水量 550.0mm(74% 分布在 6~8 月份),年平均蒸发量 2138.6mm,年均气温 12.3℃。本试验选用 3 种生态系统进行研究,即:枣粮间作(Jujube/crop intercropping ecosystem, JIE)、枣树单作(Jujube monocropping ecosystem, JME)和农田生态系统(Farmland ecosystem, FE)。3 种系统连续种植时间均超过 20a。枣粮间作生态系统带宽 15m,单枣行南北向种植,枣树株距 3m。枣粮间作作物为小麦(*Triticum aestivum* L.)和玉米(*Zea mays* L.)。小麦品种为石家庄 8 号,2005 年 10 月 9 日播种,2006 年 6 月 10 日收获,播量 270kg hm⁻²,麦枣间距 1.15m,小麦行距 15cm。玉米品种为郑单 958,于 2006 年 6 月 14 日播种,9 月 22 日收获,播量 37.5kg hm⁻²,玉米枣间距 2.2m,玉米行距 60cm,株距 25cm。枣树单作生态系统枣行南北向种植,行距 4m,株距 3m。农田生态系统为小麦-玉米一年两熟,栽培品种、播种方式及每公顷播种量同枣粮间作作物。

在农田生态系统中,定点设置采样点。枣树单作生态系统中,在枣树基部、枣树行间和株间分别设置采样点。枣粮间作生态系统中,在枣树种植行两侧不同距离处设置采样点,具体为:距枣树 0.25、1、2、3、4.5m 和 6.5m,重复 3 次。

1.2 田间肥料管理

(1)枣粮间作复合生态系统肥料管理 在小麦播种区内,于 2005 年 10 月 6 日施用 450kg hm⁻²二铵(N18,P46)做基肥,2006 年 4 月 8 日追施 450kg hm⁻²尿素(N46.4)。2006 年 6 月 14 日在玉米播种区内施用 150kg hm⁻²二铵,300kg hm⁻²尿素。枣树在 2006 年 4 月 10 日追肥,每株穴施 1.1kg 枣树专用肥(N13,P15,K12)0.55kg 尿素。施深 30cm,施用点为枣树基部 0.5m 范围内。

(2)枣树单作肥料管理 于 2006 年 4 月 10 日进行多穴式施肥,即在树冠区内分散多穴施肥。施深 30cm,每株枣树施用 1.1kg 枣树专用肥和 0.55kg 尿素。

(3)农田生态系统肥料管理 2005 年 10 月 6 日于小麦播种前施用 450kg hm⁻²二铵做基肥,2006 年 4 月 8 日追施 450kg hm⁻²尿素。玉米播种时施用 150kg hm⁻²二铵,300kg hm⁻²尿素。

1.3 样品采集与处理

于2005年10月2日(玉米收获后)、2006年6月11日(小麦收获后)及9月24日(玉米收获后),在各采样点进行采样。土壤样品分层采集,即按0~20cm、20~40cm、40~60cm、60~100cm和100~150cm分5层采集。土样经风干研磨后测定全氮、全磷含量。

植株样品在相应样点同时采集。小麦收获1m双行,玉米选择相邻5株长势均匀的植株。小麦按根(Root, R)、茎(Stem, S)、叶(Leaf, L)和籽粒(Grain, G)等器官分开,玉米按根、茎、叶、穗轴(Corncob, C)和籽粒等器官分开烘干称重计算干物质积累量。经粉碎后进行植株全氮、全磷含量测定。

枣树生物量测定方法如下:对枣树进行田间调查,在枣树不同空间位置上调查枝/株、枣吊/枝、叶/枣吊、枣/枣吊的数量,通过对枣吊、枣叶和枣取样称其干重,计算枣树1a干物质生产量。而后将枣树枝、枣吊、枣叶和枣粉碎后测定样品全氮、全磷含量。同时,为了确定枣粮间作系统中枣树吸收氮、磷养分空间来源,在枣粮间作系统中用改良壕沟法分别于距枣树种植行1、2、3、4m处,平行于枣树种植行挖取长1.5m,深1.5m剖面。测量各剖面枣树根的数量和直径,按照刘荷芬和刘明久^[11]的方法,将枣树根分为一级根(直径>1.0cm)、二级根(0.1cm<直径<1.0cm)和三级根(直径<0.1cm),三级根又称吸收根,承担着吸收养分的功能。然后根据各剖面上枣树吸收根的横截面积,按比例对间作枣树吸收养分量进行空间分配。

1.4 测定方法

(1)全氮含量测定 土壤和植株样品全氮含量用开氏法进行测定^[12]。水样全氮含量测定参照1992年Johnes方法进行^[13]。

(2)全磷含量测定 土壤样品全磷含量用HClO₄-H₂SO₄消煮,钼锑抗比色法测定。植株样品全磷含量用钒钼黄比色法测定^[12]。水样全磷含量测定参照Johnes方法进行^[13]。

1.5 数据分析

养分表观损失(Nutrient apparent loss, N_L)依据养分平衡法按公式(1)计算:

$$N_L = TN_{05} + N_F + N_R + N_I - N_U - TN_{06} \quad (1)$$

式中, TN_{05} 和 TN_{06} 分别为2005和2006年玉米收获后0~150cm土壤剖面养分量(TN, TP), N_F 、 N_R 和 N_I 分别为施肥、降水和灌溉时输入的N、P量, N_U 为植株地上部吸收的N、P量。

2 结果与分析

2.1 枣粮间作复合生态系统间作物产量空间差异性分析

为了便于对枣粮间作生态系统各样点间进行比较,本文中枣粮间作系统内不同样点各指标数据均为将该样点折算为1hm²面积后的数据。从图1、图2可以看出,在枣粮间作复合生态系统中,间作物产量(生物产

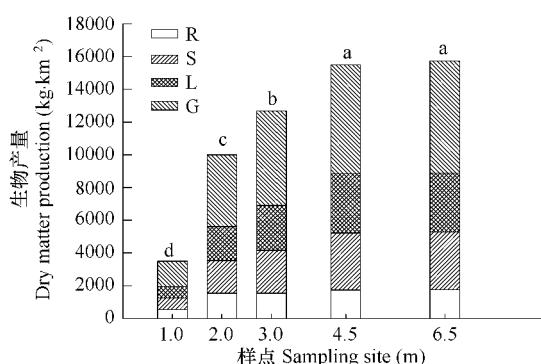


图1 间作小麦产量空间差异性

Fig. 1 Horizontal variety of wheat yield in jujube/crop intercropping system

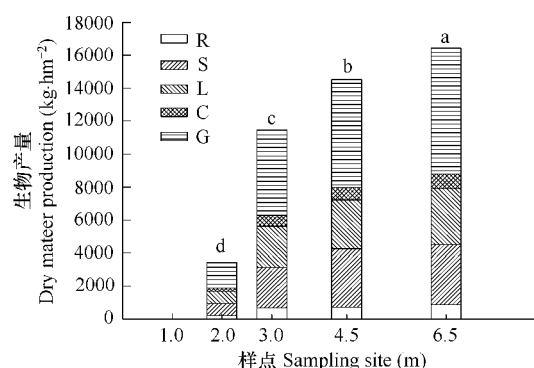


图2 间作玉米产量空间差异性

Fig. 2 Horizontal variety of maize yield in jujube/crop intercropping system

量与经济产量)存在明显的空间差异性。小麦和玉米的产量都随着与枣树种植行距离的缩小呈现出下降趋势,且距枣树种植行越近,产量下降的程度越大。例如间作小麦在从距枣树种植行 6.5m 到 3m 的 3.5m 范围内生物产量降低 3049 kg hm⁻²,经济产量降低 1076 kg hm⁻²,而在从距枣树种植行 3m 到 1m 的 2m 范围内生物产量降低幅度达到 9170 kg hm⁻²,经济产量降低幅度达到 4225 kg hm⁻²。

从图 1、图 2 还可以发现,小麦在距枣树种植行 4.5m 范围内,玉米在 6.5m 范围内随着与枣树种植行的接近,其生物产量和经济产量表现出显著降低。由此可见枣树到玉米的胁迫作用要大于对小麦的胁迫作用。

2.2 枣粮间作复合生态系统养分利用空间差异性分析

2.2.1 间作小麦吸收 N、P 空间差异性

在枣粮间作系统中,小麦吸收 N、P 的量也呈现出明显的空间差异性(图 3,图 4)。间作小麦对 N、P 吸收量随着与枣树种植行距离的缩小而表现出加速下降的趋势,且在距枣树种植行 4.5m 范围内表现出显著降低。这与间作系统中小麦生物产量空间差异性的趋势极为相似(产量与吸 N 量间 $R^2 = 0.956^{**}$,产量与吸 P 量间 $R^2 = 0.922^{**}$),表明间作小麦吸收 N、P 量主要受小麦的生物产量决定。这与枣粮间作各样点间小麦植株 N、P 含量差异不显著有关。

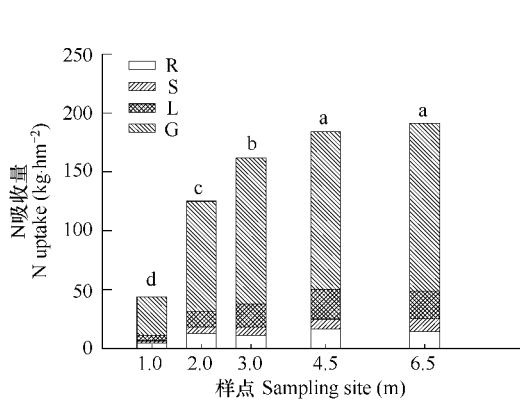


图 3 间作小麦 N 吸收量空间差异性

Fig. 3 Horizontal variety of N uptake by wheat in jujube/crop intercropping system

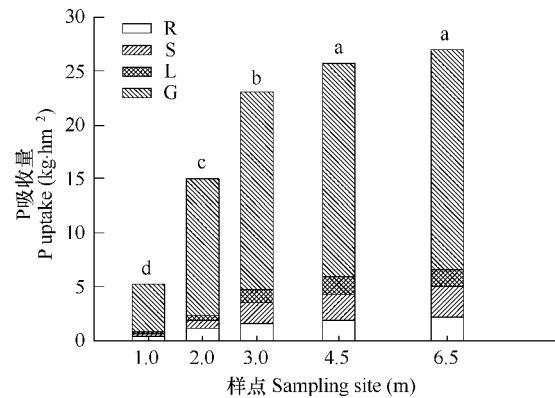


图 4 间作小麦 P 吸收量空间差异性

Fig. 4 Horizontal variety of P uptake by wheat in jujube/crop intercropping system

分析图 3、图 4 可知,小麦籽粒中 N、P 存贮量占全株 N、P 存贮量的比例随着与枣树种植行距离减小表现出略有增加的趋势,说明在受枣树胁迫较为严重的区域,小麦吸收的 N、P 营养物质更趋向于向籽粒转移。

2.2.2 间作玉米吸收 N、P 空间差异性

从图 5、图 6 可以看出,枣粮间作系统中,玉米吸收 N、P 量也呈现出明显的空间差异性,且其与间作玉米生物产量之间也存在着极显著相关性(产量与吸 N 量间 $R^2 = 0.954^{**}$,产量与吸 P 量间 $R^2 = 0.883^{**}$)。与距枣树种植行 6.5m 的样点相比,4.5m 样点玉米吸 N 量有显著的降低,而吸 P 量则没有显著性差异,表明枣树对间作玉米吸收 N 的胁迫程度要高于对玉米吸收 P 的胁迫程度。

2.2.3 间作枣树吸收 N、P 空间差异性

通过在枣粮间作系统中挖取剖面发现,本研究中间作枣树根系在水平方向上主要分布于距枣树种植行 3m 的范围内,依据各剖面枣树吸收根横截面积对枣树吸收 N、P 量进行空间分配,结果如图 7 所示。从图 7 可以看出,虽然枣树对 N 的吸收量要远大于对 P 的吸收量,但枣树对 N、P 的吸收表现出相同的规律,即枣树吸收 N、P 养分的范围均为距枣树 3m 范围内,特别是距枣树种植行 2m 范围内,且以距枣行 2m 处吸收量最大,枣树在距枣行 4m 处吸收 N、P 量很小。这与间作作物吸收 N、P 的空间变化特征正好相反,说明枣粮间作系统各组分在利用土壤养分方面存在空间互补性。

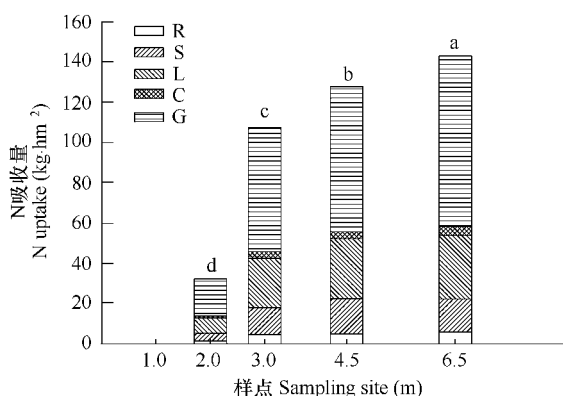


图5 间作玉米 N 吸收量空间差异性

Fig. 5 Horizontal variety of N uptake by maize in jujube/crop intercropping system

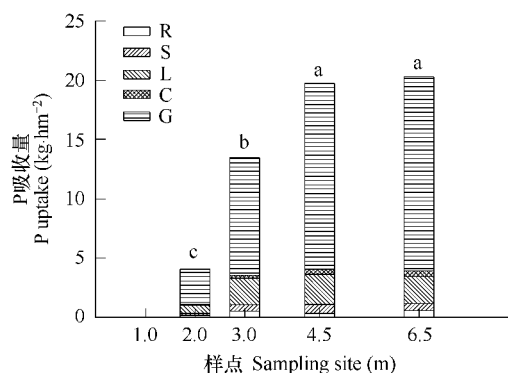


图6 间作玉米 P 吸收量空间差异性

Fig. 6 Horizontal variety of P uptake by maize in jujube/crop intercropping system

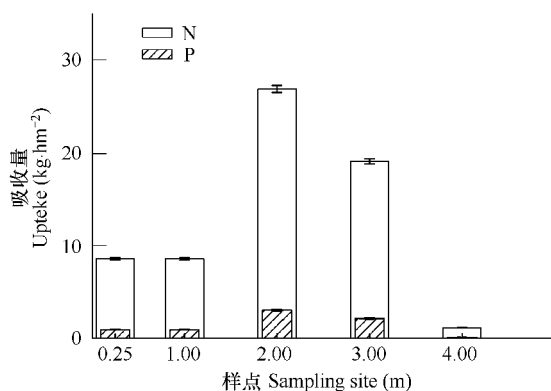


图7 间作枣树 N、P 吸收量空间差异性

Fig. 7 Horizontal variety of N and P uptake by jujube in jujube/crop intercropping system

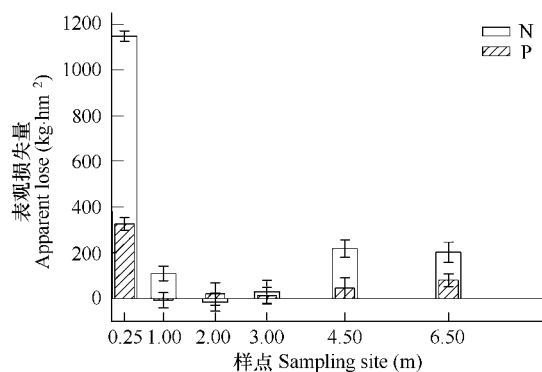


图8 枣粮间作系统 N、P 表观损失量空间差异性

Fig. 8 Horizontal variety of soil N and P apparent loss in jujube/crop intercropping system

2.3 枣粮间作复合生态系统养分表观损失空间差异性分析

利用养分平衡方法计算得到枣粮间作系统养分表观损失空间差异性(图8)。从图8可以看出,在枣粮间作复合生态系统内部 N、P 表观损失量存在明显的空间差异性。距枣树种植行 0.25m 处 N、P 表观损失量最大,1hm² 0.25m 样点代表面积上 N、P 表观损失量分别达到 1148 kg hm⁻² 和 327kg hm⁻²,显著高于其它空间位置上的表观损失量。间作系统中 N、P 表观损失量最低值分别出现在距枣树种植行 2m 和 1m 处。N 在距枣树种植行 6.5m 到 2m 范围内,P 在距枣树种植行 6.5m 到 1m 范围内,随着与枣树种植行距离缩小,表观损失量有降低的趋势。同时,该范围内 P 表观损失量没有显著差异,而距枣树种植行 2m 处的 N 表观损失量显著低于距枣树种植行 6.5m、4.5m 和 1m 样点的 N 表观损失量。说明在枣粮间作系统内部,与 P 相比,N 表观损失量空间变异性较大。

从图8还可以看出,枣粮间作系统各样点的 N 表观损失量都远大于 P 表观损失量,平均为 P 表观损失量的 3.38 倍。表明在当前的田间管理水平下,N 表观损失是枣粮间作系统最主要的养分表观损失形式。这可能与 N 肥施用量大以及 N 素易淋溶特性有关。

2.4 单作生态系统产量与养分吸收、表观损失情况比较

从表1可以看出,与农田生态系统相比,枣粮间作系统小麦和玉米均表现减产,经济产量分别降低

11.4%、39.9%。综合分析图 1、2 和表 1 可以发现,间作小麦有明显的增产区与减产区,两者分界线位于距枣树种植行 3m 处,而间作玉米在整个枣粮间作系统内均表现减产。这与李志欣等^[9]研究得出的枣粮间作系统中小麦平均表现增产、间作小麦和玉米增减产分界线分别位于距枣树种植行 2m 和 4m 的结论不同。试验立地条件和作物品种的差异可能是该分歧产生的主要原因。以生物产量和经济产量为基础计算得到枣粮间作系统土地当量比(Land Equivalent Ratio, LER)分别为 1.11 和 1.14。说明枣粮间作虽然降低了单种组分的生物产量及经济产量,但整个系统对土地利用集约化程度较高。

表 1 枣粮间作与单作生态系统产量比较(kg hm⁻²)

Table 1 Comparison of yield between Jujube/crop intercropping and monocropping systems

系统 Cropping system	生物产量 Dry matter production			经济产量 Grain yield		
	小麦 Wheat	玉米 Maize	枣 Jujube	小麦 Wheat	玉米 Maize	枣 Jujube
JIE	11717.1	10148.2	8230.2	5152.6	4644.5	6923.5
FE	12217.6	17704.9	—	5815.4	7733.3	—
JME	—	—	21806.0	—	—	16776.7

表 2 枣粮间作与单作生态系统土壤养分吸收和表观损失比较(kg hm⁻²)

Table 2 Comparison of N and P uptake, and soil N and P apparent loss between Jujube/crop intercropping and monocropping systems

系统 Cropping system	土壤 TN 变化 Change of soil TN	土壤 TP 变化 Change of soil TP	植株吸 N 量 N uptake	植株吸 P 量 P uptake	N 表观损失 N apparent lose	P 表观损失 P apparent lose
JIE	-48.9(35.0) ^a	181.4(5.0) ^a	353.6(8.9)	45.9(1.8)	214.0(42.3)	59.2(5.71)
FE	-62.8(35.1) ^a	162.4(15.9) ^a	318.2(7.9)	46.4(3.0)	222.3(44.0)	67.9(16.5)
JME	-252.4(39.4) ^b	21.6(15.5) ^b	343.1(34.1)	37.9(3.3)	258.5(64.6)	78.4(14.4)

3 种生态系统相比,枣粮间作系统吸 N 量最大,农田生态系统吸 P 量最大,枣树单作系统吸收 N、P 量最小(见表 2)。从 N、P 表观损失量来看,枣树单作系统 N、P 表观损失量最大,农田生态系统表观损失量居中,枣粮间作生态系统表观损失量最小,表明枣粮间作在促进养分利用和减少养分表观损失方面有一定优势。

土壤 TN、TP 变化量表示 2006 年玉米收获后 0~150cm 土层中 TN、TP 数量相对于 2005 年玉米收获后的变化值。从土壤 TN、TP 变化情况来看,3 种系统土壤 TP 都有所增加,而 TN 则均降低,特别是枣树单作系统,土壤 TN 下降较大。以上分析说明在该试验区,单纯依靠施用化肥不利于土壤 N 素平衡。

3 结论

在本研究区域,发展枣粮间作可以提高土地利用的集约化程度。在间作系统内部,间作小麦和玉米产量有明显的空间差异性,且与农田生态系统相比均表现为减产,其中间作小麦存在明显的增产区与减产区,两者分界线位于距枣树种植行 3m 处,而间作玉米在整个系统均表现减产。

枣粮间作系统各组分对土壤养分利用存在明显的空间差异性,同时间作系统内部 N、P 表观损失量也表现出明显的空间差异性。对间作系统内部不同区域应进行有针对性的田间管理。对枣树种植行基部区域应以减少养分表观损失,特别是 N 表观损失为主要管理目标,应改变目前“一炮轰”式施肥为少量多次施肥;应改变目前施肥于枣树种植行灌溉沟内为施肥点与灌溉沟分离。而对于距枣树种植行 3m 到 1m 范围,应以减少作物产量损失为主要管理目标,可以通过在该范围内配置不同作物或搭配同作物不同生理特性品种进行改善,具体田间管理措施需深入研究。

References:

- [1] Li W H, Lai S D. Agroforestry in China. Beijing: Science Press, 1994. 157—166.
- [2] Tong J X, Li X G, Dou C R, et al. The effect on environment and beneficial analysis of grain and jujube intercropping. Journal of Northwest Forestry University, 2003, 18(1): 89—91.
- [3] Su P X, Liu X M. Photosynthetic characteristics of linze jujube in conditions of high temperature and irradiation. Scientia Horticulturae, 2005, 104

(3):339—350.

- [4] Zhao Y M. Jujube transpiration in arid hillside field. *Journal of Northeast Forestry University*, 2001,29(4):108—110.
- [5] Li B G, Wang Y H. A study on relation between the photosynthetic rate and chlorophyll content in Chinese jujube. *Journal of Hebei Forestry College*, 1991,6(2):79—84.
- [6] Zhang J X, Wei Q P, Liu P L, *et al.* Digital modeling of light distribution within the crop canopy in jujube-wheat interplanting system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003,14(6):945—948.
- [7] Shi G L, Zhao L L, Miao Z W, *et al.* The structure and dynamics of pest insect communities in jujube sites of different intercropped systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2005,25(9):2263—2271.
- [8] Feng J, Li D K, Liu S Q, *et al.* Dynamics of arthropod community as the jujube yard in different habitats. *Journal of Shanxi Agricultural University*, 2005,25(2):146—149,156.
- [9] Li Z X, Liu J Y, Liu C T, *et al.* Development effect of compound plant on crop ecology and yield in grain-jujube intercropping. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2002,25(4):45—48,61.
- [10] Xie Y H, Hong J P, Jin Z N, *et al.* The effect of intercropping Chinese date with winter wheat on soil eco-environment. *Rural Eco-Environment*, 1996,12(3):27—30.
- [11] Liu H F, Liu M J. Investigation of the distribution of jujube roots. *Journal of Henan Vocation-Technical Teachers College*, 1998,26(1):107—108.
- [12] Bao S D. *Soil and agricultural chemistry analysis (3rd edition)*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000.
- [13] Johnes P J, Heathwaite A L. A procedure for the simultaneous determination of Total N and Total P in freshwaters using persulphate microwave digestion. *Water Research*, 1992,26(10):1281—1285.

参考文献:

- [1] 李文华,赖世登. 中国农林复合经营. 北京:科学出版社,1994.157~166.
- [2] 同金霞,李新岗,窦春蕊,等. 枣粮间作的生态影响及效益分析. *西北林学院学报*,2003,18(1):89~91.
- [4] 赵雨明. 旱坡地枣树蒸腾作用研究. *东北林业大学学报*,2001,29(4):108~110.
- [5] 李保国,王永蕙. 枣树叶片的光合速率与叶绿素含量关系的研究. *河北林学院学报*,1991,6(2):79~84.
- [6] 张继祥,魏钦平,刘克长,等. 枣麦间作系统中光能在作物群体内分布的数值模拟. *应用生态学报*,2003,14(6):945~948.
- [7] 师光禄,赵莉茜,苗振旺,等. 不同间作枣园害虫的群落结构与动态. *生态学报*,2005,25(9):2263~2271.
- [8] 冯津,李登科,刘素琪,等. 不同生境枣园节肢动物群落的动态. *山西农业大学学报*,2005,25(2):146~149,156.
- [9] 李志欣,刘进余,刘春田,等. 枣粮间作复合种植对作物生态及产量的动态影响. *河北农业大学学报*,2002,25(4):45~48,61.
- [10] 谢英荷,洪坚平,金志南,等. 枣麦间作对土壤生态环境的影响. *农村生态环境*,1996,12(3):27~30.
- [11] 刘荷芬,刘明久. 枣树根系分布调查. *河南职业技术学院学报*,1998,26(1):107~108.
- [12] 鲍士旦(主编). *土壤农化分析(第三版)*. 北京:中国农业出版社,2000.