

黄土区果农复合系统种间水分关系研究

云雷, 毕华兴, 任怡, 吴坚, 陈攀攀, 马雯静

(北京林业大学 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室 水土保持学院, 北京 100083)

摘要: 选择黄土区7种典型果农复合类型, 进行野外实验布设。利用土钻取样和烘干称重法进行土壤含水量的测定, 研究了不同果农复合类型土壤水分含量的水平方向变化与垂直剖面变化规律, 分析了黄土区果农复合类型种间水分竞争关系。研究表明, 在水平方向上, 果农复合类型土壤水分含量的变化与林带的方位、距离有关, 果农复合对水分竞争并不显著, 树木对光遮蔽作用的强弱, 才是影响土壤水分水平变化的主要因素。在垂直方向上, 根系对土壤水分的竞争区域主要在0—60 cm土层范围内。同单作作物土壤水分的比较得出, 苹果和其它农作物的复合有助于土壤水分的保持; 核桃、桃与其它农作物的复合, 则表现为不同的影响, 即对玉米的协助大于竞争, 对花生的竞争大于协助。

关键词: 农林复合; 土壤水分; 水分竞争; 黄土区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)06-0110-05

中图分类号: S152.7

Research on Soil Moisture Relations Among Types of Agroforestry System in the Loess Region

YUN Lei, BI Hua-xing, REN Yi, WU Jian, CHEN Pan-pan, MA Wen-jing

(College of Soil and Water Conservation, and Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating of the Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Seven typical compound types of fruit tree and crops in the loess region were selected and soil moisture was tested by the traditional weighing method to find out the relations of soil moisture affected by the compound types in horizontal and vertical directions. Results indicated that soil moisture for the compound types was related to the orientation and distance from the shelterbelt in horizontal direction. The competition between fruit tree and crops was not significant. Soil moisture was mostly influenced by the intensity of shading light. The main competition layer of roots for soil moisture was within 60 cm of soil surface in vertical direction. The comparison with soil moisture for the single crop indicated that compound types of apple tree and other crops helped to maintain soil moisture. The compound types of walnut, peach, and other crops had different effects on soil moisture. More assistance to corn was observed rather than competition and more competition to peanut was found rather than assistance.

Keywords: agroforestry; soil moisture; water competition; loess region

农林复合生态系统中明显存在两个作用界面^[1], 一是地上以空气为介质的种间竞争光、热、水分的地上界面; 二是地下以土壤为介质的根系之间竞争养分、水分的地下界面。种间关系主要体现在这两个界面上, 当前揭示这两个界面的作用规律是研究农林复合种间关系作用机制的关键, 对促进农林复合系统可持续发展具有非常重要的指导作用。

随着界面研究的深入, 树木的作用机理逐渐被证实^[2-5], 研究发现农林复合经营各组分之间的关系很

大程度上是由于地下部分的相互作用引起的^[6-8], 在干旱半干旱或无灌溉条件下, 种间地下的水分关系问题尤为突出^[9-12]。全面了解种间地下的水分关系, 是发展和完善农林复合经营的前提条件^[13]。在不同的地区, 农林复合系统的形式和类型有很大差别^[14], 本文以农林复合种间关系理论为基础, 以晋西黄土区7种不同果农复合类型为研究对象, 主要研究果农复合地下根系之间以土壤为介质相互影响水分的地下界面^[15], 以探索复合类型地下部分水分的相互关系。

收稿日期: 2008-01-28

修回日期: 2008-08-27

资助项目: 国家“十一五”科技支撑项目“黄土区农林复合系统可持续经营技术研究”(2006BAD03A0503)

作者简介: 云雷(1983—), 男(汉族), 黑龙江省大庆市人, 硕士。主要研究方向为农林复合。E-mail: lepidus_qq@126.com。

通信作者: 毕华兴(1969—), 男(汉族), 陕西省米脂县人, 博士, 副教授。主要研究方向为林业生态工程。E-mail: bhx@bjfu.edu.cn。

1 研究区概况

研究区位于山西省吉县, 地理坐标 $35^{\circ}53'10''-36^{\circ}21'02''\text{N}$, $110^{\circ}27'30''-111^{\circ}07'20''\text{E}$, 属典型的黄土残塬沟壑区。据吉县气象站资料, 吉县多年平均降水量 571 mm, 降水量季节分配不匀, 4—10 月降水量为 521.4 mm, 占全年总降水量的 90.5%, 其中 6—9 月降水量占全年降水量的 70% 左右, 冬季(12 月至次年 2 月)降水量平均为 16.7 mm, 占年平均降水量的 3%。土壤属黄土母质, 土层深厚, 土质均匀, 在剖面不同深度分布有钙积层石灰结核或假菌丝体。吉县境内植物资源比较丰富。常见的木本植物有 194 种, 分属于 49 个科; 草本植物 180 种, 分属于 44 个科(不包括农作物)。退耕还林工程主要造林树种为油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、苹果(*Malus pumila*)、桃(*Prunus persica*)、核桃(*Juglans regia*)、杏(*Prunus armeniaca*)及梨(*Pyrus hopeiensis*)。

2 研究方法

2.1 复合类型的选择

根据黄土残塬沟壑区农林复合经营特点, 结合在当地农村实际种植情况的调查, 在山西省吉县东城乡雷家庄残塬面, 建立以苹果、核桃为主的果农复合模式试验示范区, 选取核桃×玉米, 核桃×花生, 苹果×玉米, 苹果×花生, 苹果×大豆, 桃×玉米, 桃×花生

7 种果农复合模式, 同时还选取花生单作、玉米单作、苹果单作的样地类型作对照。果农复合类型试验区基本情况见表 1。

2.2 土壤水分监测点的布设与土壤水分的测定

在试验区内各种果农复合类型中, 以中央林带为中心, 分别在平行于林带且距林带 0.5, 1, 1.5, 2 m 直至农作物中心区域分别布设土壤水分监测点, 每个样线上 3 个重复, 具体布设见图 1。

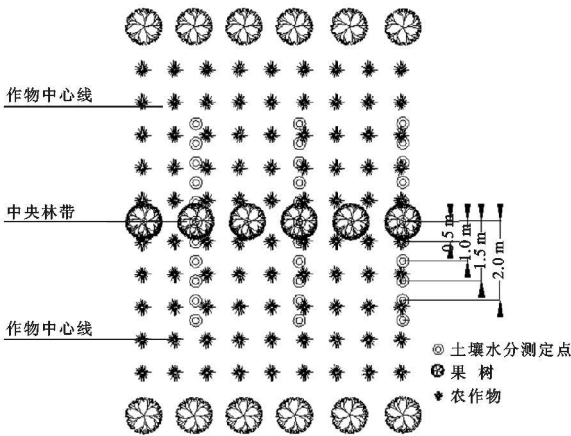


图 1 农林复合土壤水分监测试验布设

于 2007 年 7 月 11—23 号, 8 月 18—24 号, 利用土钻取土, 采用烘干法测定土壤水分, 对布设的水分监测点进行取土, 共取土 3 次(其中 7 月份两次, 8 月份一次), 取土深度为 0—100 cm, 每 20 cm 为一层, 分层测定土壤的质量含水量。

表 1 果农复合类型试验区基本情况

复合类型	株行距/ m		农作物密度/ (株/ 100 m ²)	海拔/ m	胸径/ cm	高度/ m		走向	树龄/ a	面积/ m ²
	果树	农作物				果树	农作物			
苹果× 玉米	2.93× 3.87	0.58× 0.51	338	897	6.61	3.53	2.00	东偏南 5°	7	440
苹果× 花生	3.65× 4.02	0.43× 0.53	439	889	7.20	3.33	0.21	南偏西 10°	7	1 120
苹果× 大豆	3.37× 5.07	0.50× 0.52	385	876	8.60	3.80	0.75	东偏南 3°	7	720
核桃× 玉米	6.37× 7.10	0.68× 0.61	241	901	6.24	3.50	2.00	东偏北 10°	7	1 500
核桃× 花生	6.34× 5.87	0.46× 0.46	473	890	6.88	3.55	0.22	东偏南 5°	7	260
桃× 玉米	6.33× 4.13	0.74× 0.46	294	894	7.86	1.85	1.90	东偏南 5°	5	180
桃× 花生	6.33× 4.50	0.43× 0.34	684	894	6.88	1.85	0.23	东偏南 5°	5	80
玉米单作	0.53× 0.64		295	883	—	—	2.42	正东	—	180
花生单作	0.27× 0.38		975	867	—	—	0.14	南偏西 5°	—	1 150
苹果单作	3.08× 3.95		—	872	7.32	—	3.33	正东	7	1 800

3 结果与分析

3.1 果农复合与农作物单作土壤水分含量对比

研究区土壤水分测定结果见表 2。从表 2 中得出果农复合系统耕作层(0—40 cm)的土壤水分含量,

由于果树的遮蔽作用(苹果冠幅 3.8 m×3 m, 核桃冠幅 3 m×2.5 m, 桃冠幅 2.3 m×2 m), 降低了土壤水分的蒸发量, 复合类型耕作层比对照地的土壤水分相对增加 0.69%, 其中玉米和 3 种果树复合的土壤水分相对增加 1.21%, 花生和 3 种果树复合的土壤水

分相对增加 0.18%。说明除部分复合类型外, 试验区的整体果农复合有利于土壤保墒, 这主要是由于各个复合类型中树木的减光照, 降温 and 减风速作用, 从而使农作物土壤水分蒸散减弱, 起到遮蔽保墒作用。虽然试验区的整体果农复合有利于土壤保墒, 但不同复合类型也存在不同的差异, 以核桃× 花生复合和桃× 花生复合为例, 土壤水分含量都低于相对应的单作农田, 土壤水分含量相对减少量达 0.78%, 1.21%, 这可能是核桃和桃的根系与花生根系在耕作层(0—40 cm)内生态位产生重叠, 水分竞争激烈的结果。

3.2 果农复合类型界面土壤水分水平变化

经数据处理发现, 复合类型土壤水分变化与林带的方位及离中央林带的距离有关, 在整体上复合类型的土壤含水率北面> 南面。同时因为复合类型的不同, 土壤水分水平变化各有差异, 部分复合类型与林带距离呈线性显著性负相关, 其相关方程为

表 2 研究区果农复合类型(0—40 cm)土壤水分含量

复合类型	0—40 cm 土壤水分含量/ %	
	7 月	8 月
苹果× 玉米	8.02	8.25
苹果× 花生	11.58	10.72
苹果× 大豆	8.69	7.57
核桃× 玉米	9.09	8.67
核桃× 花生	9.58	9.33
桃× 玉米	10.39	8.71
桃× 花生	9.83	8.24
玉米单作	7.34	7.94
苹果单作	9.21	10.20
花生单作	10.04	10.45

- (1) 苹果× 花生: $y = 11.907 - 0.962x$
 $r = -0.879^{**}$, $n = 11$
- (2) 苹果× 大豆: $y = 11.611 - 1.625x$
 $r = -0.832^{**}$, $n = 11$
- (3) 桃× 玉米: $y = 10.797 - 0.633x$
 $r = -0.686^{**}$, $n = 11$

式中: x ——距复合界面的距离, 即距观测树行的距离; y ——土壤含水率; r ——相关系数; n ——样本数; ** ——相关性高度显著; * ——相关性显著。

苹果和农作物复合界面的两侧, 土壤水分规律性较为一致。土壤水分随着距中心距离的增大而逐渐变小, 可能是竞争和果树的遮荫效果共同作用的结果, 但主要体现遮蔽的效果。随着距中心距离的增大, 遮荫效果变小, 土壤水分变小。桃和农作物复合

类型的土壤水分变化规律与苹果和农作物的复合相似。核桃和农作物复合的土壤水分变化南北两侧差异较大, 核桃× 玉米北侧土壤水分总体规律为树体下的土壤含水量较低, 距离树体越远, 土壤含水量逐渐升高, 可能是树冠遮荫和随着距中心距离的变大, 核桃根系数量呈直线性减少, 竞争变小的结果。然后, 由于作物生长旺盛耗水, 土壤水分随距离增加又逐渐减小趋近于对照作物。南侧靠近路边受人为因素影响较大, 在这里不作进一步分析。核桃× 花生复合土壤水分变化与核桃× 玉米相似, 但变化相对要明显一些。核桃和农作物复合的土壤水分在整体上具有随着距离增大而增大的趋势。

试验区苹果和农作物复合, 桃和农作物复合, 果农复合整体的土壤含水量都具有随着距树下距离的增大, 逐渐变小的趋势, 根据计算, 土壤水分变化与距离具有高度显著性负相关, 其相关方程为

- (1) 苹果与农作物复合: $y = 11.435 - 1.151x$
 $r = -0.668^{**}$, $n = 30$
- (2) 桃与农作物复合: $y = 10.948 - 0.663x$
 $r = -0.706^{**}$, $n = 20$
- (3) 果树与农作物复合: $y = 10.928 - 0.451x$
 $r = -0.338^{**}$, $n = 72$

通过对土壤水分水平方向上的研究, 我们可以得出研究区果农复合对水分竞争影响并不显著, 树木对光照遮蔽作用的强弱, 才是影响土壤水分水平变化的主要因素。

3.3 果农复合类型界面土壤水分垂直变化

从表 3 可以看出, 果农复合的大部分类型在 0—100 cm 土层内土壤水分垂直剖面的变化规律。土壤表层容易受到各种自然和人为环境的影响, 各个类型的表面土壤水分差异比较大, 复合类型的不同也导致土壤水分随深度分布差异较大, 除了苹果× 花生复合类型外, 整体上属于增长型, 即随着土壤深度的增加土壤水分含量增加。从增长型变化趋势又分为两类: 一类是包括苹果× 玉米, 苹果× 大豆, 核桃× 玉米在内的复合类型, 随着土层深度的增加, 增长趋势逐渐变大; 另一类是包括核桃× 花生, 桃× 玉米, 桃× 花生在内的复合类型, 随着土层深度的增加, 增长趋势逐渐变小。

玉米、花生和大豆吸收根垂直方向上绝大部分集中在 0—60 cm 的土层深度, 且随着土层深度增加而递减, 属于浅根性农作物^[16—18]。而苹果垂直方向上吸水根量主要集中在 20—40 cm 土层内, 40—100 cm 土层内随深度的增加而逐渐减少^[19], 所以苹果的 3 种复合类型的主要竞争空间是 0—40 cm 的土层。苹果× 玉米复合和苹果× 大豆复合在 0—40 cm 土层内, 土壤水

分含量较低, 而苹果×花生复合在 20—40 cm 土壤水分较高, 主要是由于花生处于结荚期, 需要大量水分, 利用苹果树“提水作用”^[20]引起土壤剖面中水分的再分配, 来满足生理需求。而在 40—100 cm 土层内由于

苹果根系随深度的增加而减少, 苹果×玉米复合和苹果×大豆复合土壤水分含量随深度的增加而增加, 而苹果×花生复合类型的水分主要用于花生的生长, 所以水分在这个范围内水分较低。

表 3 不同复合类型土壤水分剖面变化

复合类型	剖面各土层土壤水分含量/%				
	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	60—80 cm	80—100 cm
苹果×玉米	8.01	8.26	8.67	9.50	10.23
苹果×花生	10.39	11.90	11.36	10.94	10.81
苹果×大豆	7.88	8.39	9.02	10.34	11.68
核桃×玉米	8.55	9.21	10.18	12.05	13.42
核桃×花生	8.84	10.07	11.44	12.69	13.34
桃×玉米	8.79	10.31	10.99	11.29	11.14
桃×花生	8.37	9.71	11.32	11.80	11.83
玉米单作	7.32	7.97	10.20	11.07	11.51
苹果单作	9.81	9.59	11.04	11.40	10.51
花生单作	9.84	10.65	10.99	12.04	12.09

经计算, 对于玉米来说, 虽然苹果×玉米复合的整体土壤含水量小于玉米单作, 但在 0—40 cm 的土层范围内苹果×玉米复合的土壤含水量大于玉米单作, 说明苹果的植入, 对玉米的竞争小于协助; 对于花生来说, 苹果×花生复合和花生单作的 0—100 cm 土壤含水量几乎相等, 但在 0—40 cm 的土壤含水量大于花生单作, 说明苹果的植入, 对花生的协助要大于竞争。大豆的情况和玉米类似, 对大豆的竞争小于协助。

核桃和桃的吸收根系处集中分布在地表下 0—60 cm 的范围内^[21—23], 因此从根系的生态位重叠可知核桃×玉米复合, 核桃×花生复合, 桃×玉米复合和桃×花生复合的主要竞争空间是 0—60 cm 的土层。土壤水分含量在 0—60 cm 范围内随着吸收根数量的减少而增加, 核桃×玉米复合和核桃×花生复合的增加幅度相对较小, 而桃×玉米复合和桃×花生复合的增加幅度相对较大; 在 60—100 cm 范围内由于吸收根的数量减少, 这 4 种复合类型的土壤水分含量增加变化相对稳定且大于 0—60 cm 的土壤含水量。

无论是核桃×玉米还是桃×玉米的整体土壤含水量都大于玉米单作, 说明核桃、桃的植入, 对玉米的协助要大于竞争; 而对于花生来说, 虽然核桃×花生复合的整体土壤含水量大于花生单作, 桃×花生复合的整体土壤含水量小于花生单作, 但在 0—60 cm 范围内的土壤含水量均小于花生单作, 说明核桃、桃的植入, 对花生的竞争要大于协助。由于根系的生长状况, 生态位在同一地区造成重叠, 造成竞争, 0—60 cm 土层深

度是果树和作物的根系交错区, 即主要竞争区域。在主要竞争区域 0—60 cm 土层范围内, 土壤含水量桃×玉米>核桃×玉米>苹果×玉米, 苹果×花生>核桃×花生>桃×花生。

4 结 论

黄土残塬沟壑区果农复合系统耕作层的土壤水分含量, 由于果树的遮蔽作用, 降低了土壤水分的蒸发量, 复合类型耕作层比对照地的土壤水分相对增加 0.69%, 其中玉米和 3 种果树复合的土壤水分相对增加 1.21%, 花生和 3 种果树复合的土壤水分相对增加 0.18%。

在水平方向上, 研究区复合类型土壤水分变化与林带的方位、距离有关。在方位上, 复合类型总体平均土壤含水率北面>南面; 在距离上, 研究区复合类型土壤平均含水量与林带距离呈线性显著性负相关。同时可以得出研究区果树根系的水平分布对水分产生竞争并不显著, 树木对光遮蔽作用的强弱, 才是影响土壤水分水平变化的主要因素。

在垂直方向上, 由于根系的生长分布状况, 生态位发生重叠, 造成竞争。在主要竞争区域 0—60 cm 土层范围内, 土壤含水量桃×玉米>核桃×玉米>苹果×玉米, 苹果×花生>核桃×花生>桃×花生。相对于单作作物的土壤水分, 苹果的植入, 对玉米、花生、大豆的协作要大于竞争; 核桃、桃的植入, 对玉米的协助要大于竞争, 对花生的竞争要大于协助。

[参 考 文 献]

- [1] 吴刚, 李静, 邓红兵. 农林生态系统界面生态学初探[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 459—460.
- [2] Young A. 10 hypotheses for soil- agroforestry research [J]. Agroforestry Today, 1989, 1(1): 13—16.
- [3] Schofield H J. Tree planting for dry land salinity control in Australian[J]. Agroforestry Systems, 1992, 20(1): 1—24.
- [4] Szott L T. Soil plant interactions in agroforestry systems[J]. Forest Ecology and Management, 1991, 45(2): 127—152.
- [5] Lefroy E C, Fernandes E C M, Sanchez P A. Trees and shrubs as sources of fodder in Australian[J]. Agroforestry Systems, 1992, 20(2): 117—140.
- [6] Monteith J L, Ong C K, Corlett J E. Microclimatic interactions in agroforestry systems[J]. Forest Ecology and Management, 1991, 45(1): 31—44.
- [7] Ong C K, Corlett J E, Singh R P. Above and below ground interaction in agroforestry systems[J]. Forest Ecology and Management, 1991, 45(1): 45—57.
- [8] 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—222.
- [9] Kowalchuk T E. Shelterbelts the effect on crop yield. Canada[J]. Journal of Soil Science, 1995, 75(4): 543—550.
- [10] McIntyre B D, Riha S J, Ong Control, et al. Competition for water in a hedge-intercrop system[J]. Field Crops Research, 1997, 52(1/2): 151—160.
- [11] Rao M R, Nair P K R, Ong C K, et al. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems[J]. Agroforestry Systems, 1996, 38(1/3): 3—50.
- [12] Smith D M. Physiological and environmental control of transpiration by trees in windbreaks[J]. Forestry Ecology and Management. 1998, 105(1/3): 159—173.
- [13] Tournebize R, et al. Modelling evapotranspiration partitioning in a shrub/grass alley crop[J]. Agri For Meteorol, 1996, 81: 255—272.
- [14] Li J X, Wan Z H. Grey decision making of agroforestry ecosystem types in Huaibei Plain of Anhui Province [J]. Res Agric Moder, 2000, 21(3): 13—142.
- [15] Wu G, Li J, Deng H B, Primary research on interface ecology in agroforestry ecosystems[J]. China J. Appl. Ecol, 2000, 11(3): 459—460.
- [16] 潘惠文, 王崇生, 安浩, 等. 特种玉米优质高效栽培关键技术[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2004: 22—55.
- [17] 古建中, 李传强, 姚清志, 等. 花生高产高效栽培及病虫害防治[M]. 北京: 台海出版社, 2001: 1—13.
- [18] 董钻. 大豆产量生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 1—25.
- [19] 张玉星. 果树栽培学各论[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006: 8—21, 127—146.
- [20] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 土壤—植物根系统的水分传输[J]. 北京农业大学学报, 1993, 19(2): 25—30.
- [21] 郝荣庭, 张毅萍. 中国果树志(核桃卷) [M]. 北京: 中国林业出版社, 1995: 54—67.
- [22] 姜全, 郭继英, 赵剑波. 桃生产技术大全[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003: 14—32.