

土壤水分对果树生长和衰老的影响

张露^{1,2,3,4,5*}, 杨亮彦^{1,2,3,4,5}

¹陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西 西安

²陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司, 陕西 西安

³自然资源部退化及未利用土地整治工程重点实验室, 陕西 西安

⁴陕西省土地整治工程技术研究中心, 陕西 西安

⁵自然资源部土地工程技术创新中心, 陕西 西安

收稿日期: 2022年3月1日; 录用日期: 2022年6月30日; 发布日期: 2022年7月8日

摘要

水分是一切生命体的命脉, 果树亦如此。本文综述了土壤水分对果树生长、衰老等影响, 分析了水分平衡的意义, 指出水分不足对果树生长的影响, 强调水分对果树发育的重要性, 提出了果园土壤水分管理的覆盖措施, 说明果园覆草的有效性, 并展望了今后发展的方向。

关键词

土壤水分, 果树, 生长, 衰老, 覆草

Effects of Soil Moisture on Fruit Tree Growth and Senescence

Lu Zhang^{1,2,3,4,5*}, Liangyan Yang^{1,2,3,4,5}

¹Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Institute of Land Engineering and Technology, Shaanxi Provincial Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

³Key Laboratory of Degraded and Unused Land Consolidation Engineering, The Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

⁴Shaanxi Provincial Land Consolidation Engineering Technology Research Center, Xi'an Shaanxi

⁵Land Engineering Technology Innovation Center, Ministry of Natural Resources, Xi'an Shaanxi

Received: Mar. 1st, 2022; accepted: Jun. 30th, 2022; published: Jul. 8th, 2022

Abstract

Moisture is the lifeblood of all living things, even fruit trees. This paper summarizes the effects of

*通讯作者。

文章引用: 张露, 杨亮彦. 土壤水分对果树生长和衰老的影响[J]. 林业世界, 2022, 11(3): 144-149.

DOI: 10.12677/wjf.2022.113018

soil moisture on the growth and senescence of fruit trees, analyzes the significance of water balance, points out the impact of insufficient water on the growth of fruit trees, emphasizes the importance of water on the development of fruit trees, and proposes mulching measures for soil water management in orchards. We take this to illustrate the effectiveness of orchard mulching, and to look forward to future research directions.

Keywords

Soil Moisture, Fruit Tree, Growth, Senescence, Grass Mulching

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水分作为果树体内重要的组成部分,参与各个植物器官的形成,树体内物质的合成及一切营养物质和生物合成物质的转运与再分配等一系列的生理生化过程,并协调和维持着果树体内温度的恒定,果树所吸收水分的95%是通过蒸腾散发机制来调节树体温度的[1][2]。土壤水分除了能满足果树叶片的蒸腾作用,维持植物体温恒定和叶片扩张、以及光合作用的基本需求外,还关系到土壤中营养物质向根区的迁移及对果树的生物有效性,也关系到土壤物理状态和对根系延伸的机械胁迫程度,最佳的土壤供水条件始终是果树丰产优质的重要物质基础和环境条件[3]。干旱地区果树的产量主要依赖于土壤水分状况,然而在湿润地区如果季节性降雨不合理,也会产生程度不同的湿害效应[4]。

2. 研究现状

2.1. 土壤水分与果树生长关系的研究

2.1.1. 土壤水分与果树产量的关系

果园生产属于一种高经济附加值产业,农民每年在果园投入的化学肥料、农药等化学品显著高于农田,果园土壤扰动较少,根系分泌物逐年累计,改变着土壤有机碳的组成,土壤紧实化程度加剧,这些都有可能改变土壤水分性状。依据果树生理学的基本规律可知果实增大最迅速的时间段为果实成熟之前的20~30天左右,此时段内应保证充足的水分供应,否则将会影响果实的产量[5]。同时有研究指出,一旦干旱胁迫威胁到作物生长,则其导水率下降[6][7][8]。具体表现在作物树干木质部出现的空穴将导致作物茎、根系、叶片中的水分传导度降低[9]-[14]。对苹果而言,土壤水分胁迫一旦发生,则苹果树叶片中叶绿素含量将减少,苗木的田间存活率明显下降,阻碍光合作用的正常进行,最终影响到苹果的产量[15][16]。

同时,朱德兰等在1996与1997年对渭北果园的研究中指出,96年降雨量(650 mm/a)与苹果树生长理论需水规律基本吻合,当年苹果产量和品质均达到了历史最高水平,平均每公顷产量30,000 kg以上,最高的可达75,000 kg,其中,苹果横径在80 mm以上的达到60%,且它们的品质也是最优的;而97年属偏早年,渭北地区全年降水仅440 mm,该年产量普遍在15,000 kg/hm²以下,果实横径很少达到80 mm,横径在50~60 mm的约占70%,50 mm以下的约占30% [17]。由以上可知,充足的降雨量及土壤水分状况是实现苹果优质高产的重要因素。果树生长代谢离不开水分的参与,水分不仅为果树本身所需要,还

使一些养分溶解其中, 并随水分流动被根部吸收利用, 保证果树正常新陈代谢及一定的产量。

2.1.2. 土壤水分与果树品质的关系

土壤水分状况不仅影响果树的生长发育, 还直接决定着果实的大小、重量、可溶性固形物含量、可溶性糖含量、含酸量、糖酸比、着色度及硬度等。如果果树在生长期水分供需不平衡, 果实品质将会受到一定程度的影响, 其经济效益也会相应的降低, 从而影响到整个果园生态系统的平衡问题[18]。有学者研究指出, 在“Braeburn”苹果生育后期进行水分控制(即从盛花期后的 104 天到 194 天左右)与对果实进行整个生长期的水分控制, 可溶性糖类和可溶性固形物含量及果实颜色及其硬度均会比在全生育期都浇水的果实明显好些; 在果树生育早期(即从盛花期开始到结束后的 104 天内)与果实整个生育过程进行水分控制比只在盛花后期对果树进行控水所收获的果实单重及翌年果实花瓣数均有所下降[19]。可见, 土壤水分状况在果树不同生育时期对其品质会有一定程度的影响。

吉晶等人研究表明, 当苹果园出现干旱胁迫时, 苹果叶水势将呈现持续下降的趋势且随干旱胁迫程度增加及时间推迟而下降速率加快, 从而使叶片含水量下降, 这将严重影响果实的发育[20]。Zrenner R 等人研究表明, 作物体内碳水化合物代谢过程通常会受到水分胁迫的影响, 同时使叶片中的淀粉含量减少, 所以当水分不足以满足果树生长所需时, 果树通常会表现为叶片中多元醇、果糖和葡萄糖含量增加, 淀粉和蔗糖含量减少[21] [22]。单长卷等人通过对嘎拉苹果在水分胁迫下的影响研究表明, 随着土壤含水量降低, 果树的叶水势、光合速率、叶片相对含水量、蒸腾速率均有所下降, 束缚水含量则有所增加, 且果树幼苗蛋白质和 ATP 含量均也减少, 当水分胁迫时间增加, 果树呼吸率呈现先增加后下降的趋势, 而 O_2 产生率会有显著的增加趋势[23] [24]。刘志田等人通过研究水分对芒果品质的影响指出, 水分充足能使芒果生长与发育提前, 挂果时间延后, 这样能使果实得到充分的生长, 良好的发育, 如果水分不足会严重制约芒果的生长发育, 但降雨量过多, 湿度过大, 又会导致果树枝叶茂密, 病虫害加重, 容易造成果树病虫害滋生与蔓延, 此时收获的果实不仅颜色差, 而且味道酸, 果品质量下降[25]。

果树所利用的土壤水分主要来自于两部分, 一是冬季休眠期土壤所储存的水分, 二是果树生长期的降雨量。吴文等人通过对降雨量如何影响贡柑果实品质的研究表明, 在全年降雨量或 6~9 月份降雨量较大的年份里, 有利于处在果实膨大期的贡柑增加单果重量, 对果品及产量的增加有益[26]。刘明池等人对土壤水分与草莓的生长关系的研究表明, 随着土壤含水量的减少草莓的叶片数、株高、产量、单果质量等均有所降低[27]。但需要指出一点即水分灌溉并不是越多越好, 对果树进行浇水虽然在一定程度上可以增加果实的产量, 但同时也减少了果实中的有机酸、糖分等含量, 果实干物质重量也有所减少[28]。此外, 水分在影响果实品质的具体机理上、生产效益等问题还有待进一步的研究和拓展。

2.2. 土壤水分条件与果树衰老的研究进展

一般地, 土壤水分情况会影响果树的衰老。当水分胁迫达到一定程度时, 根据果树体内水势的高低, 果树体内的水分将会被重新调配布置, 则水势相对较低的组织器官便会加快衰老甚至于死亡, 从而对果树产生永久性的伤害, 且这种伤害是不可逆转的, 对果树的影响非常大, 水分胁迫导致叶片衰老包括叶片光合能力降低, 最终表现为叶片脱落甚至死亡, 同时曹慧等人还指出, 水分胁迫在诱导苹果属植物衰老过程中, 叶绿素含量下降, 叶片失绿可作为叶片衰老开始的标志, 蛋白质、核酸及光合作用均有所下降[29]。这些生理过程的最终表现为果树衰老过程加剧, 影响果树的可持续发展。在早期, 叶片衰老主要体现在因叶绿体损坏而导致叶绿素含量减少[30] [31] [32] [33] [34]。果树体内缺水还表现出蛋白质含量会减低[35] [36], 叶片中光合磷酸化作用减弱[37] [38] [39], 膜脂过氧化程度加剧[40] [41], ABA 含量增加、CTK 含量减少[40], 并引起多种酶活性改变[42] [43]。

在陕西渭北旱塬, 果树衰老问题较为常见, 盛果期短, 严重损害了果农的积极性, 研究土壤水分状况与果园水分管理措施, 有助于延长盛果期, 防止果树过早衰老。

3. 果园土壤水分的管理技术

对果园土壤水分的管理, 在节水栽培技术方面, 一是要选择灌水的关键时期, 二是应用一些果园覆盖技术, 三是利用果园生草技术, 四是化学制剂节水保墒技术的应用。有关在节水保墒方面使用化学制剂, 一些化学制剂可以使植物蒸腾作用降低, 达到改善土壤分, 增加空气湿度, 提高水分利用效率的目的[44]。在节水灌溉技术方方面, 可以适时适地的选用沟灌、滴灌、喷灌、微喷灌、渗灌、膜上灌、分区灌溉或调亏灌溉等技术。目前还有一些果园节水的新技术, 如污水灌溉、咸水灌溉, 这些新技术能充分利用看似废弃的水源, 物尽其用。还有一种新技术就是利用一些特殊的装置收集大气中多余的水分, 使之汇集用于作物灌溉, 这种技术就是俗称的大气取水技术[45]。

一般所说的果园覆盖技术, 包括覆膜和覆草两种。刘建新等人就果园覆草技术进行研究, 以种植 12 年的红富士苹果为实验对象, 覆盖厚度达 10 cm 以上。研究结果指出, 相比没有进行覆草措施的土壤而言, 覆草后土壤的最高温度有所降低, 而土面最低温度有所增加, 能有效保持住土壤中的水分, 增加土壤含水量, 尤其对表层土壤(0~20 cm)水分的提高比较铭心啊, 还能使土壤中养分数量与有机质含量提高, 增加苹果产量, 提高苹果品质[46]。孙鹏、王孝威等人研究也指出, 苹果园土面进行覆草后, 土壤含水量增加, 土壤容重有明显降低的趋势, 且土壤中有有机质含量显著提高[47] [48]。另外, 果园生草技术能有效的减缓土面蒸发速度与强度, 在一定程度上增加土壤含水量, 且对果园周围小气候具有一定的调控效应, 在增加果实产量和品质下也能改善局部小气候, 增加果农收入[49] [50] [51]。

在果园生草方面, 对于草种的选择应该谨慎, 不是随便一种草都能有效进行保水, 如耐荫且适应性强的草种保水性能较好, 在覆草时需注意草不能与附近的果树有一样的病虫害。在干旱且灌溉不方便的地区, 最好选择类似于扁茎黄芪这种能耐旱的草种进行生草覆盖[44]。也有研究指出果园生草有可能加剧果园水分消耗, 这点有待进一步的证实。对果树的耗水效应, 应了解其在每个生育阶段土壤水分特征及相关的保墒措施, 但在水分恢复阶段生草或覆草均有阶段性的保墒作用[52]。贾麟等人指出在渭北旱塬果园土面上覆草后, 耗水量与耗水强度达到最少, 且比清耕方式少用大概 9.3%的水量, 而覆膜的果园耗水量与耗水强度居第二, 比清耕节水 5.8% [53], 通过以上研究和比较我们可知覆草是渭北果园节水的最优方式。

4. 当前亟待研究的重要问题

在渭北旱塬种植苹果树, 有着得天独厚的土壤、光照等自然条件, 当然也存在着不足, 如水资源的亏缺及年际年内降雨量的不均都制约着当地果业的可持续发展。据有关部门测定, 渭北旱塬降雨的 65%~70%通过径流和蒸发而损失掉, 在冬季, 多风干燥, 狂风不仅对土壤造成侵蚀作用, 使沙尘飞扬, 而且还增加了土壤水分的无效蒸发, 制约着当地果业持续健康发展, 加之该地区的自然地貌, 沟壑纵横、地形破碎、植被稀少, 而且水土流失严重, 从而使该地区的土壤出现贫瘠化现象, 加上当地十年九旱的实际情况, 强大的地面蒸发, 使得土壤的基础条件相对较差, 抵抗风沙、干旱、霜冻、冰雹等自然灾害的能力更为薄弱, 严重影响着果树的生长发育[54]。

渭北旱塬是陕西苹果的主产区, 也是苹果的优生区[55]。为此, 了解该地区土壤性质对水资源的具体影响效应及明确干燥化部位是否可以通过降雨或人工进行修复, 掌握这些规律有利于当地果业持续健康稳定的发展, 这也是今后研究重点。

基金项目

国家自然科学基金地区科学基金项目(42167039)。

参考文献

- [1] 李世奎, 朱佳满, 周远明, 等. 中国种植业区划[M]. 北京: 农业出版社, 1985.
- [2] 学士钊, 邓熙时, 程家胜, 等. 渭北优质苹果生产基地的建设[A]//陕西省果树研究所建所三十周年, 1989.
- [3] 樊军, 胡波. 黄土高原果业发展对区域环境的影响与对策[J]. 中国农学通报, 2005, 21(11): 355-359.
- [4] 李嘉瑞. 关于陕西苹果产业发展的几点思考[C]//陕西果品国际年会优秀论文集. 2000: 56-60.
- [5] 陈军. 果树生长与土壤条件的关系探析[J]. 现代农业科技, 2010(9): 155-156.
- [6] 沈玉芳, 王保莉, 曲东, 陈荣府. 水分胁迫下磷营养对玉米苗期根系导水率的影响[J]. 西北农林科技大学学报, 2002, 30(5): 11-15.
- [7] 张岁岐, 山仑. 根系吸水机理研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(4): 396-402.
- [8] Passioura, J.B. (1988) Water Transport in and to Roots. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **39**, 245-265. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.39.060188.001333>
- [9] Meinzer, F.C. and Grantz, D.A. (1990). Stomatal and Hydraulic Conductance in Growing Sugarcane: Stomatal Adjustment to Water Transport Capacity. *Plant, Cell & Environment*, **13**, 383-388. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb02142.x>
- [10] Kavanagh, K.L., Bond, B.J., Aitken, S.N., Gartner, B.L. and Knowe, S. (1999) Shoot and Root Vulnerability to Xylem Cavitation in Four Populations of Douglas-Fir Seedlings. *Tree Physiology*, **19**, 31-37. <https://doi.org/10.1093/treephys/19.1.31>
- [11] Kikuta, S.B., Lo Gullo, M.A., Nardini, A., Richter, H. and Salleo, S. (1997) Ultrasound Acoustic Emissions from Dehydrating Leaves of Deciduous and Evergreen Trees. *Plant, Cell & Environment*, **20**, 1381-1390. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.1997.d01-34.x>
- [12] Saliendra, N.Z., Sperry, J.S. and Comstock, J.P. (1995) Influence of Leaf Water Status on Stomatal Response to Humidity, Hydraulic Conductance, and Soil Drought in *Betula occidentalis*. *Planta*, **196**, 357-366. <https://doi.org/10.1007/BF00201396>
- [13] Salleo, S., Nardini, A., Pitt, F. and Gullo, M.A.L. (2000) Xylem Cavitation and Hydraulic Control of Stomatal Conductance in Laurel (*Laurus nobilis* L.). *Plant, Cell & Environment*, **23**, 71-79. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2000.00516.x>
- [14] Sperry, J.S. and Pockman, W.T. (1993) Limitation of Transpiration by Hydraulic Conductance and Xylem Cavitation in *Betula occidentalis*. *Plant, Cell & Environment*, **16**, 279-287. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1993.tb00870.x>
- [15] 何洪光, 魏勇. 水分胁迫对苹果叶水势及叶防护林科技[J]. 防护林科技, 2009(6): 2.
- [16] 姚允聪, 程继鸿, 张大鹏. 苹果种质资源抗旱性鉴定研究Ⅵ水分胁迫条件下苹果幼树期水分生理指标的变化[C]//中国园艺学会第四届青年学术讨论会论文集. 2000: 95-99.
- [17] 朱德兰, 吴发启. 黄土高原旱地果园土壤水分管理研究[J]. 水土保持研究, 2004, 11(1): 40-42+115.
- [18] 张义, 谢永生, 郝明德, 等. 果园生态系统生产力调控[J]. 生态学报, 2009, 29(12): 6811-6817.
- [19] Kilili, A.W., Behboudian and Mills, T.M. (1996) Composition and Quality of 'Braeburn' Apples under Reduced Irrigation. *Scientia Horticulture*, **67**, 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(96\)00939-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(96)00939-9)
- [20] 吉晶. 干旱对苹果树叶水势变化的影响[J]. 山西农业科学, 2007, 35(1): 48-50.
- [21] Keller, F. and Ludlow, M.N. (1993) Carbohydrate Metabolism in Drought Stressed Leaves of Pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Journal of Experimental Botany*, **44**, 1351-1359. <https://doi.org/10.1093/jxb/44.8.1351>
- [22] Zrenner, R. and Stütt, M. (1991). Comparison of the Effect of Rapidly and Gradually Developing Water-Tress on Carbohydrate Metabolism in Spinach Leaves. *Plant, Cell & Environment*, **14**, 939-946. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1991.tb00963.x>
- [23] 单长卷, 刘遵春. 水分胁迫对嘎拉苹果苗期生理特性的影响[J]. 西北农业学报, 2006, 15(1): 183-185.
- [24] 张新华, 杨洪强, 李富军. 水分胁迫下苹果幼苗超弱发光及一些生理特性的变化[J]. 西北植物学报, 2004, 24(4): 720-724.
- [25] 刘志田, 罗关兴, 王军, 陈艳琼. 水分对芒果果实生长及品质的影响[J]. 中国热带农业, 2007(1): 32-33.

- [26] 吴文, 马培恰, 唐小浪, 黄永敬, 姚金明, 李健强, 等. 降雨量和环境水分影响贡柑果实品质的研究[J]. 中国南方果树, 2009, 38(6): 32-34.
- [27] 刘明池, 小岛孝之, 田中宗浩, 陈杭. 亏缺灌溉对草莓生长和果实品质的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(4): 307-311.
- [28] Baselga Yrisarry, J.J. (1993) Response of Processing Tomato to Three Different Levels of Water and Nitrogen Applications. *Acta Horticulturae*, **335**, 149-156. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1993.335.16>
- [29] 曹慧. 水分胁迫诱导苹果属植物叶片衰老机理的研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [30] 蒋明义, 杨文英, 徐江, 陈巧云. 渗透胁迫下水稻幼苗中叶绿素降解的活性氧损伤作用[J]. 植物学报, 1994, 36(4): 289-295.
- [31] 蒋明义, 郭绍川. 水分亏缺诱导的氧化胁迫和植物的抗氧化作用[J]. 植物生理学通讯, 1996, 32(2): 144-150.
- [32] 金明现, 李启任. 激动素对离体小麦叶片中蛋白质含量下降的延缓作用[J]. 植物生理学通报, 1994, 30(1): 11-14.
- [33] 李向东, 王晓云, 张高英, 万勇善, 李军. 花生叶片衰老过程中某些酶活性的变化[J]. 植物生理学报, 2001, 27(4): 353-358.
- [34] 沈文飏, 叶茂炳, 徐朗莱, 张荣铄. 小麦旗叶自然衰老过程中清除活性氧能力的变化[J]. 植物学报, 1997, 39(7): 634-640.
- [35] 贾虎森, 潘秋红, 蔡世英. 水分胁迫下油梨幼苗活性氧代谢对光合作用的影响[J]. 热带作物学报, 2001, 22(1): 48-55.
- [36] 沈波, 余炳景. 离体稻苗叶片衰老过程中蛋白质组分的变化(简报) [J]. 植物生理学通讯, 1990, 27(4): 33-35.
- [37] 黄卓辉, 钱月琴, 沈允钢. 6-BA 对叶绿体偶联因子功能的影响[J]. 植物生理学报, 1991(1): 15-19.
- [38] 卢从明, 高煜珠, 张其德, 匡廷云. 水分胁迫对叶绿体能量转换的影响[J]. 植物学报, 1993, 35(9): 693-697.
- [39] 卢从明, 张其德, 匡廷云. 水分胁迫对小麦光系统 II 的影响[J]. 植物学报, 1994, 36(2): 93-98.
- [40] 乐寿松, 于振文, 余松烈. 小麦旗叶衰老过程中氧自由基与激素含量的变化[J]. 植物生理学通讯, 1996, 32(5): 349-351.
- [41] Krause, G.H. and Weis, E. (1991) Chlorophyll II Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **42**, 313-371. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.42.060191.001525>
- [42] 林植芳, 李双顺, 林桂珠. 花生离体叶片衰老的调节 I: AsA 和 Gly 对几种酶活性的影响[J]. 植物生理学通讯, 1985(4): 33-35.
- [43] 吴少伯, 赵毓橘. 6-BA 和 ABA 对离体叶片 POD 同工酶的影响[J]. 植物生理学通讯, 1985(6): 21-24.
- [44] 牛锐敏. 果园节水技术发展现状[J]. 北方园艺, 2010(13): 223-225.
- [45] 姜会仁. 空中取水, 新法频现[J]. 发明与创新(中学时代), 2010(7): 6.
- [46] 刘建新. 覆草对果园土壤肥力及苹果产量与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(1): 102-105.
- [47] 王孝威, 郑王义, 杨晓霞, 高峰, 曹慧. 覆草、覆膜对旱地苹果幼树生长发育的影响[J]. 山西农业科学, 2002, 30(2): 46-48.
- [48] 孙鹏, 王丽华, 李光宗, 孙玉焕, 孙百晔. 麦草覆盖对果园土壤理化性质影响的研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(3): 37-39+109.
- [49] 孟林, 俞立恒, 毛培春, 张国芳. 苹果园间种鸭茅和白三叶对园区小环境的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(8): 132-136.
- [50] 唐军, 何华玄, 易克贤. 幼龄荔枝园间作热带豆科牧草试验初报[J]. 草业科学, 2007, 24(1): 36-38.
- [51] 向佐湘, 肖润林, 王久荣, 彭晚霞, 夏艳珺, 徐华勤, 等. 间种白三叶草对亚热带茶园土壤生态系统的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(1): 29-35.
- [52] 甘卓亭. 渭北旱塬苹果园根系分布格局及其土壤水分生态特征研究[D]: [博士学位论文]. 杨凌: 中国科学院水利部水土保持研究所, 2008: 86.
- [53] 贾麟. 苹果园保墒滴灌技术研究[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2005: 25.
- [54] 安凯春, 石俊玲. 渭北旱塬区农业可持续发展的途径[J]. 现代种业, 2005(6): 12-13+8.
- [55] 冉伟, 谢永生, 郝明德. 黄土高原沟壑区不同种植年限果园土壤水分变化[J]. 西北农业学报, 2008, 17(4): 231-233.