

## 间套作系统中土壤水分研究进展\*

王菊芬, 吴伯志\*\*

(云南农业大学 农学与生物技术学院, 云南 昆明 650201)

**摘要:** 简要介绍了间套作的基本情况及其研究意义, 并对国内外不同间套作系统中土壤水分变化、间作群体中的土壤水分蒸发、水分利用效率及土壤水分和水分利用效率影响因素的研究进展进行了综述。通过以上几方面的综述, 提出了在间套作系统中土壤水分研究方面存在的不足和需要进一步研究的问题。

**关键词:** 间套作; 土壤水分; 水分利用效率

**中图分类号:** S 152.75   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1004-390X (2009) 02-0286-06

## Advance in Studies on Soil Moisture in Intercropping System

WANG Ju-fen, WU Bo-zhi

(College of Agronomy and Biotechnology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China)

**Abstract:** Firstly, the basic situation of inter-cropping and the research meaning of soil moisture in inter-cropping system were briefly reviewed. Furthermore, the research advances in the changes of the soil moisture, the evaporation of the soil moisture and the affect factors of the soil moisture and water use efficiency in different inter-cropping system at home and abroad were summarized. Based on the review from these respects, it was suggested that further studies should be strengthened from the viewpoints of soil moisture in intercropping system.

**Key words:** inter-cropping; soil moisture; water use efficiency

间套作是被世界各国广泛应用的种植方式。间作是指在同一田地上同一生长期中, 分行或分带相间种植两种或两种以上作物的种植方式, 间作据其特性充分利用了作物和土壤的生产潜力; 套作是指在前季作物生长后期的株行间播种或移栽后季作物的种植方式, 套作在满足主作物对光、温、水和营养需要的前提下, 适当提前了后播作物的生育时间, 经济利用了土地。两种种植方式的共同点在于都有作物共处期, 所不同处是后者作物共处期较短且每种作物的共处期都不超过其全生育期的一半。它们可以集约化的利用光、热、水、气、土地等资源, 与单作相比, 合理间套作

既可高产高效, 还可以解决作物与环境、作物与作物间的矛盾。农作物间套种植在我国农作史上有悠久的历史, 是我国传统精细农艺的精华。目前, 我国 2/3 的耕地采用间套复种方式, 全国 1/2 的粮食产量都是依靠间套复种种植模式获得的。在华北平原小麦玉米套种面积占玉米种植面积的 1/2, 西北灌区春小麦春玉米的套种面积占春玉米的 1/3, 云、贵、川以及两广、两湖丘陵旱地上农作物间套种面积也相当广泛<sup>[1]</sup>。在间套作方式上也多种多样, 有棉田间套作、粮饲间套作、粮菜间套作、稻田复合作、林果间作等<sup>[2]</sup>。据国外资料统计, 在热带地区 99% 的豇豆、95% 的花

收稿日期: 2008-02-25   修回日期: 2008-04-07

\* 基金项目: 云南省科技厅国际合作项目 (2003GH05)。

作者简介: 王菊芬 (1981-), 女, 云南陆良人, 在读研究生, 主要从事间套作系统中土壤水分变化研究。

E-mail: wangjufen918@126.com

\*\* 通讯作者 Corresponding author: 吴伯志, 男, 教授, 博士生导师。E-mail: bozhiwu2003@yahoo.com.cn

生、93%的谷类均以间作形式种植; 非洲 98% 的豇豆系间作种植, 哥伦比亚的菜豆 90% 以上是间作种植; 在乌干达, 玉米的 84%, 豆类的 81% 和花生的 56% 都来自间作<sup>[3]</sup>, 而且关于这方面的研究报告也较多<sup>[3~5]</sup>。

土壤水分是土壤的重要物理指标之一, 来源于大气降水、灌溉水以及随毛细管上升的地下水和凝结水。土壤水分状况受到气候、植物、地形及土壤等诸多因子的综合影响, 是农作物水分供应的主要来源, 它的多寡不仅直接影响到作物的生长发育, 而且也影响到作物的产量和品质。实行间套作耕作措施, 增加了地面覆盖, 间作物荫蔽行间, 可以减少土壤水分蒸发, 防止土壤板结, 增加土壤入渗, 减少水分流失量, 提高水分利用率; 同时还能充分利用土壤深层水分并分层利用土壤水分, 从而延缓干旱时期, 减少干旱程度。因此, 研究间套作系统中的土壤水分对作物生长发育和农业发展有重要的意义。

## 1 间套作系统中的土壤水分变化

不同地区、不同的间作种植密度、同一间作物的不同生长季节的土壤水分变化是不相同的。王兴祥<sup>[6]</sup>等对丘陵地区红壤花生南酸枣间作系统中的土壤水分进行了研究, 结果表明: 间作南酸枣具有更大的生长量, 需要消耗更多的土壤水分, 因此间作系统中南酸枣种植带土壤含水量明显低于单作南酸枣土壤含水量; 赵英等<sup>[7]</sup>测定了低丘红壤农林复合系统中间作南酸枣和单作南酸枣的土壤水分也得出相同的结论。李俊祥等<sup>[8]</sup>对淮北平原杨-麦间作系统的土壤水分变化研究结果表明, 农林复合系统中树木的减光照、降温、减风速作用可以减弱农田蒸散, 具有很好的保墒作用; 农林带状间作可以提高土壤含水量, 提高数量视间作密度而定, 密度大则提高得多, 密度小则提高得少, 一般土壤含水量可提高 0.67% ~ 3.87%。杜社妮等<sup>[9]</sup>在陕北黄土丘陵沟壑区对清耕和间作沙打旺 6 年、4 年、2 年仁用杏园 0 ~ 500 cm 土层土壤水分进行了测定, 结果表明, 秋季沙打旺开始枯萎凋落, 生长缓慢, 耗水量少, 且大量的枯枝落叶覆盖于地面, 减少了水分蒸发, 从而使 0 ~ 100 cm 土层土壤水分间作高于单作; 而春季、夏季为沙打旺快速生长期, 沙打旺生长量大且根系发达, 大量吸收深层土壤水分, 造成

深层土壤水分过度消耗, 因此 0 ~ 500 cm 土层土壤水分间作明显低于单作, 且沙打旺在 1 ~ 6 龄期间, 年龄越大, 根系生长量越大且分布越深, 吸收的土壤水分越多, 吸取的土层越深, 故造成间作年限越长, 土壤水分降低越显著。宋同清等<sup>[10]</sup>在亚热带丘陵区幼龄茶园通过连续 4 年的大田对比试验, 研究了茶园间作白三叶草对土壤水分时空变化的调节效果, 结果表明: 间作白三叶草在不同土层深度对含水量的调控效果不同, 间作白三叶草的主要根系虽然均分布在 0 ~ 20 cm, 但并没有在表层土壤与茶树竞争水分, 而且通过拦截降水、减少地表径流, 使全年各月的平均含水量极显著大于单作。

在国外, OLESANTAN<sup>[11]</sup>对玉米和西瓜间作中土壤温度和水分对作物生长和产量的效应进行了研究, 结果表明: 由于西瓜叶片的遮荫作用, 减少了农田蒸发, 因此间作系统中土壤含水量比玉米单作增加了 30% 左右。SNAYDON<sup>[12]</sup>研究了玉米/甘蓝间作系统中地下部分水肥的互作效应, 结果表明: 间作系统增加了间作物地上部分生长, 抑制了地下部分生长, 使得玉米和甘蓝间作 60 cm 以下土层土壤含水量明显比甘蓝或玉米单作时要高。

另外, 不同作物间作组合的土壤含水量也是不相同的。黄瑞冬等<sup>[13]</sup>对玉米高粱及其间作小麦的土壤水分动态和产量研究认为不同作物群体土壤含水量不同, 玉米间作小麦田耗水最多, 其次是高粱间作小麦田, 清种高粱田耗水最少, 因而土壤含水量也最高。高运青等<sup>[14]</sup>针对冀西北坝上还林地间作的 4 种模式, 对林带间水分进行监测研究。结果表明: 林带间作大豆、苜蓿、小南瓜、荒草地相比较, 林带间作小南瓜系统的作物生育后期, 在近林侧由于瓜蔓遮荫而减弱了土壤的水分蒸散量, 改善林带土壤水分, 并可以获得当地丰栽作物 1.85 倍的经济产值, 是一种生态-经济效益兼顾的幼林地资源适度利用范式。

## 2 间作群体中的土壤水分蒸发

土壤水分蒸发在农田水量平衡和能量平衡中占有重要的地位, 作为一个物理过程, 它不仅与土壤水分的动态变化紧密相关, 而且对于合理的灌溉和节水技术, 以实现水分的科学化管理, 也具有的现实意义<sup>[15]</sup>。此外, 土壤水分蒸发会造成土壤含水量减少, 从而影响植物的光合作用、

蒸腾、气孔导度等。葛体达等<sup>[16]</sup>利用大型活动式防雨旱棚,人工控制土壤含水量,研究全生育期不同土壤水分对夏玉米光合特性和产量的影响。结果表明:水分胁迫下,夏玉米叶片叶绿素含量、光合面积、光合速率、蒸腾速率减少;侯小改等<sup>[17]</sup>以盆栽牡丹朱砂磊为试材,研究了5种土壤相对含水量(Soil Relative Water Content, SRWC)对牡丹光合特性的影响得出与之相同的结论。孙梅霞等<sup>[18]</sup>1998~1999年在河南省平顶山烟草研究所进行了人工控制水分条件下干旱与烟株生理特性关系的研究却得到与之相反的结论。

目前,对间作系统中土壤水分影响光合作用、蒸腾、气孔导度的研究较少。高阳等<sup>[19]</sup>在冬小麦间作种植方式下棵间蒸发生态规律试验研究中表明,土壤含水量改变,蒸发也会随之发生变化,棵间蒸发的大小主要受表层水分状况的影响。与单作相比,间作存在70 cm行宽的预留行加大了间作麦田土壤蒸发,并且间作处理小区内的冬小麦的数量较少,因此冬小麦全生育期间间作麦田土壤蒸发量增加了34.63 mm,作物蒸腾量减小了65.81 mm。灌浆-成熟期,由于叶片枯黄及降雨较多,土壤蒸发均有所增加,间作麦田由于冬小麦成熟较早,对间作春玉米遮荫减小,加上频繁的降雨,所以土壤蒸发增加较多。张劲松<sup>[20]</sup>对黄淮海平原农区银杏-小麦间作系统的热量效应(白天)和水分效应进行了研究,结果表明:拔节~腊熟期,间作系统各生育时段内小麦蒸腾耗水量均低于单作系统,全时段间作系统日平均值2.36 mm,比单作系统的2.89 mm约低18.4%,说明间作系统具有明显的降低蒸腾速率的作用。REDDY<sup>[21]</sup>研究了珍珠粟/花生间作系统中的水资源利用,结果表明:珍珠粟/花生间作可以降低农田水分无效蒸腾蒸发。

### 3 间套作群体水分利用效率

水资源短缺且降雨分配不均是我国农业持续发展的重要限制因子,以提高农业用水效率为目标的节水农业是农业生产持续发展的重要途径。节水高效农业建设的核心是提高水的利用效率,强调的是单位用水量的效益。水分利用率(Water Use Efficiency, WUE)表达的是作物对水分吸收利用过程效率的一个指标,可定义为单位水量所生产的经济产品的数量,作物群体水平上的水分利用率指群体CO<sub>2</sub>通量和作物蒸腾的水汽通量之

比,它更接近于田间实际情况,可表征田间或区域的水分利用率<sup>[22]</sup>。

徐炳成等<sup>[23]</sup>在无芒雀麦单播和与沙打旺带状间作下的生产力与土壤水分比较研究的结果表明无芒雀麦与沙打旺带状间作能够较好地保蓄浅层土壤水分和利用土壤深层水分,间作系统内无芒雀麦的土壤水分利用效率高于较单作。陆序春等<sup>[24]</sup>关于间套作系统土壤水分利用效率的研究结果表明,间作套种水分生产率明显高于单作,认为间作套种技术有利于提高水资源的利用率。宋兆民<sup>[20]</sup>、孟平<sup>[25]</sup>等对麦田间作系统水分效应进行了研究,结果都表明:间作系统内小麦水分利用率要高于单作麦田,平均高4.0%~8.7%,小麦水分利用率的提高与间作系统小麦蒸腾降低效应和土壤水分增加效应有关。宋同清等<sup>[10]</sup>对亚热带丘陵茶园间作白三叶草的保墒抗旱效果及其相关生态效应进行了研究,结果表明:与清耕茶园相比,间作茶园的茶树生长较旺盛,促使茶树的根系分布加深(主要根系分布在0~50 cm,大于清耕的0~40 cm,消耗了较多深层土壤的水分,提高了土壤水分利用率。叶优良等<sup>[26]</sup>以甘肃河西灌区为试验地点,探讨了在两个氮水平下6个小麦品种与玉米间作对水分的利用情况,结果表明:不同品种小麦与玉米间作,在300 kg/hm<sup>2</sup>氮水平下,6个小麦品种与玉米间作较单作水分用量(Water Use, WU)减少1.09%~6.96%,WUE增加10.76%~29.56%。

HUXLEY<sup>[27]</sup>研究了树木与高粱或豇豆间作结合修剪在高密度种植下的WUE,结果表明:间作或高密度种植可以提高水分利用效率。MORRIS<sup>[28]</sup>对玉米/豇豆,芥子/鹰嘴豆,玉米/绿豆,木豆/高粱等多种间作体系中的水分利用效率研究认为间作体系水分利用效率都比相应单作体系高4%~99%,绝大多数高18%以上。MORRIS<sup>[29]</sup>还对豇豆单作、高粱单作和豇豆/高粱间作种植下的WU和WUE进行了比较,结果表明:豇豆单作和豇豆/高粱间作的WU相近,但间作的WUE要高于单作。GAISER<sup>[30]</sup>对玉米/豇豆间作不同施肥条件下的水分利用效率进行了研究,结果表明:在施同样数量的NPK肥,间作系统中总的水分利用效率比单作增加60%左右。DROPPELMANN<sup>[31]</sup>在不同土壤水分有效性条件下研究了玉米与豇豆间作的水分利用效率,结果表明:土壤水分有效性比

较高时, 间作玉米和豇豆的 WUE 都高于玉米和豇豆单作, 而且玉米和豇豆在同一行间作比隔行间作要高; 在土壤水分有效性比较低时, 间作豇豆的 WUE 要高于单作豇豆, 但间作玉米却低于单作玉米。TSUBO<sup>[32]</sup>研究了南非半干旱地区粮菜间作体系中的土壤生产力。结果表明: 间作玉米与单作玉米的 WUE 相差不大, 间作菜豆的 WUE 高于单作。

同一间作方式以不同行比间作的 WUE 也不同。SAREN<sup>[33]</sup>对玉米和花生间作以 1:2 和 2:3 的行比进行了试验研究, 结果表明: 玉米/花生以 1:2 行比间作玉米的 WUE 最高。武志杰等<sup>[34]</sup>研究了清种玉米、清种小麦、玉米和小麦间种比分别为 4:1, 3:1 和 2:2 农田的水分动态变化, 结果表明: 玉米/小麦以 3:1 行比间作, 小麦具有最高的 WUE。王照霞等<sup>[35]</sup>对青贮玉米豌豆间作对产量和水分利用效率的影响进行了研究, 结果表明: 合理间作可以提高复合群体水分利用效率, 3:3 间作群体水分利用效率不灌水和灌水 60 mm 处理比玉米单作分别提高了 24.86% 和 19.24%, 比豌豆单作分别提高 14.58% 和 37.25%。

VENKAEWARLU<sup>[36]</sup>在干旱条件下研究了高粱/鹰嘴豆、鹰嘴豆/黑绿豆、木薯/瓜尔豆 3 种不同间作方式下的 WUE, 结果表明: 高粱/鹰嘴豆的 WUE 要高于鹰嘴豆/黑绿豆和木薯/瓜尔豆, 说明不同间作方式的 WUE 也不一样。

#### 4 影响间套作系统土壤水分和水分利用效率的因素

影响土壤水分变化的因素主要有土壤内部水分动态、大气温度、大气湿度、土壤表面覆盖、土面蒸发、植物蒸腾、降雨及作物水分利用率等。NASSAR<sup>[37]</sup>研究认为施用化肥可以增加禾谷类作物早期生长, 促进作物叶面积的增加, 从而使植物蒸腾占蒸腾蒸发量的比例相对提高, 土壤蒸发占蒸腾蒸发量的比例降低, 是增加 WUE 的最有效措施, 一般可以使作物的 WUE 平均提高 75% 左右。同时, 施肥还可以改善和促进根系发育和生长, 通过增加作物吸水深度, 或者增加吸水总量, 使得作物用水总量增加。JENA<sup>[38]</sup>认为在水分限制植物生长的干旱地区, 最理想的种植是一年生植物与树间作, 这样一年生植物可利用树木间上层土壤水分, 而树木则因根系下扎较深而利用深层土壤水分。KUSHWAHA<sup>[39]</sup>研究高粱、珍珠粟和花生在间作与单作下的水分利用效率时发

现, 在灌水和降雨量从 297 mm 到 584 mm 间变化时, 产量与供水量间呈线性变化, 随着供水量的增加, WUE 增加, 高粱/花生、珍珠粟/花生间作平均水分利用效率减少, 珍珠粟/高粱间作平均水分利用效率变化不明显。

#### 5 展望

间套作充分挖掘土地、光能、水源、热量等自然资源的潜力, 同时提高化肥、农药等人工辅助能的利用率和利用效率, 缓解人地矛盾, 缓解粮食与经济作物、蔬菜、果树、饲料等相互争地的矛盾, 提高资源利用率; 充分利用空间和时间, 较大幅度提高单位面积的物质产量, 从而缓解食物供需矛盾; 同时, 提高化肥、农药等人工辅助能的利用率, 减少有害物质的残留, 提高农业环境和生态环境的质量, 增强农业后劲, 不断提高土地(水体)生产力; 产品和环境安全, 体现在利用多种物种组合来同时完成污染土壤的修复和农业发展, 建立经济与环境融合观。总之, 间套作由于可以提高土地、水、热及利用率, 在农业可持续发展中将具有较大的作用。自 20 世纪 50 年代以来, 土壤水分的研究不断取得了新的进展, 例如在土壤水分的测试方面遥感技术的运用和分子理论的引入等等。然而, 总体来说, 还存在下述不足。

(1) 水分研究尚以形态研究为主、土壤水生态概念的应用刚刚起步、测试手段落后、山地土壤水分研究难度较大等。

(2) 一些学者仅研究了水分胁迫对柑橘、草莓、甘蔗、核桃、杨树、小麦、玉米等单一作物在水分胁迫下的光合作用、蒸腾和气孔导度的情况, 至于间套复合群体中这方面的研究和报道均还少见。

(3) 目前, 间套作的研究主要集中在提高单位土地的生产力上, 而对这样一种高投入高产出的复合型生产系统的水、肥利用率等则研究不够。

(4) 已有学者曾进行了一些有关农林间作对土壤水分影响的试验, 但大多研究结果是在典型晴天或阴天日条件下得到的, 即缺乏长期、连续的观测资料, 故目前这方面的研究还不够充分和深入; 不同间套作作物组合及不同行比的间作水分变化情况有研究报道, 但较少; 同时间套作体系中土壤水分竞争方面的研究报道也颇少, 因此, 以后应该多加强这方面的研究, 并且关于土壤水分的研究只有在研究的基础理论上进一步完

善,同时注重应用、理论与实践相结合才能不断推动土壤水分的研究向前蓬勃发展。

#### [参考文献]

- [1] 佟屏亚. 论高产高效吨粮田开发的理论与实践 [J]. 农牧情报研究, 1992, (5): 1-10.
- [2] 刘巽浩. 90年代我国耕作制度发展展望 [J]. 耕作与栽培, 1990, 61 (5): 1-5.
- [3] WILLEY R W. Intercropping-its Importance and Research Needs. Part I. Competition and Yield Advantages [J]. Field Crops Abstract, 1979, 32: 1-10.
- [4] FRANCIA C A. Multiple Cropping System [M]. New York: Macmillan, 1986: 57-81.
- [5] VANDERMEER J. The Ecology of Intercropping [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1992: 1-14.
- [6] 王兴祥, 张斌, 何园球, 等. 低丘红壤花生南酸枣间作系统研究 III 土壤水分 [J]. 土壤, 2003, 35 (3): 232-235.
- [7] 赵英, 张斌, 王明珠. 农林复合系统中物种间水肥光竞争机理分析与评价 [J]. 生态学报, 2006, 26 (6): 1792-1801.
- [8] 李俊祥, 宛志沪. 淮北平原杨-麦间作系统的小气候效应与土壤水分变化研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13 (4): 390-394.
- [9] 杜社妮, 白岗松. 黄土丘陵区仁用杏园不宜间作沙打旺 [J]. 园艺学报, 2007, 34 (5): 1135-1140.
- [10] 宋同清, 肖润林, 彭晚霞, 等. 亚热带丘陵茶园间作白三叶草的保墒抗旱效果及其相关生态效应 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24 (6): 39-43.
- [11] OLESANTAN F O. The Effect of Soil Temperature and Moisture Content and Crop Growth and Yield of Intercropping Maize with Melon [J]. Experimental Agriculture, 1988, 24: 67-74.
- [12] SNAYDON R W, HARRIS P M. Interaction Below-ground—the Use of Nutrients and Water [J]. In: ICRISAT (ed) Proceedings of International Workshop on Intercropping, 1981: 188-201.
- [13] 黄瑞冬, 马鸿图, 李永奎, 等. 玉米高粱及其间作小麦的土壤水分动态和产量 [J]. 辽宁农业科学, 1993, (4): 20-22, 44.
- [14] 高运青, 张立峰, 宋晋辉, 等. 冀西北高原还林地林带间水分动态与资源适度利用研究 [J]. 河北农业大学学报, 2006, 29 (6): 52-55, 64.
- [15] 甄文超, 王殿武, 代丽, 等. 北京地区渗灌条件下冬小麦田间土壤水分动态及节水机理的研究 [J]. 自然资源学报, 2000, 15 (3): 246-251.
- [16] 葛体达, 隋方功, 白莉萍, 等. 不同土壤水分对玉米光合特性和产量的影响 [J]. 上海交通大学学报 (农业科学版), 2005, 23 (2): 143-147.
- [17] 侯小改, 段春燕, 刘改秀, 等. 土壤含水量对牡丹光合特性的影响 [J]. 华北农学报, 2006, 21 (2): 91-94.
- [18] 孙梅霞, 汪耀富, 张全民, 等. 烟草生理指标与土壤含水量的关系 [J]. 中国烟草科学, 2000, (2): 30-33.
- [19] 高阳, 段爱旺. 冬小麦间作种植方式下棵间蒸发试验研究 [J]. 灌溉排水学报, 2005, 24 (2): 13-17.
- [20] 张劲松, 宋兆民, 孟平, 等. 银杏-小麦间作系统水热效应的研究 [J]. 林业科学研究, 2002, 15 (4): 457-462.
- [21] REDDY M S, WILLEY R W. Growth and Resource Use Studies in an Intercrop of Pearl Millet/Groundnut [J]. Field Crops Research, 1981, 174: 13-24.
- [22] 周绍松, 李永梅, 周敏. 作物种间和品种间水分利用效率差异研究进展 [J]. 云南农业大学学报 (自然科学版), 2007, 22 (5): 736-740.
- [23] 徐炳成, 山仑. 无芒雀麦单播和与沙打旺带状间作下的生产力与土壤水分比较研究 [J]. 中国农学通报, 2004, 20 (6): 159-161, 171.
- [24] 陆序春, 刘振之. 玉米间套花生的节水增产效果研究 [J]. 湖南农业科学, 2005, (2): 27-29.
- [25] 孟平, 张劲松. 梨麦间作系统水分效应与土地利用效应的研究 [J]. 林业科学研究, 2004, 17 (2): 167-171.
- [26] 叶优良, 李隆, 孙建好. 小麦/玉米间作和氮肥对水分利用的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2005, 25 (4): 176-182.
- [27] HUXIEYP A, PINNEY A, AKUNDA E, et al. A Tree/Crop Interface Orientation Experiment with a Grevillea Robusta Hedgerow and Maize [J]. Agroforestry Systems, 1994, 26: 23-45.
- [28] MORRIS R A, GARRITY D P. Resources Capture and Utilization in Intercropping: Water [J]. Field Crops Research, 1993, 34: 303-317.
- [29] MORRIS R A, VILLEGAS A N, POLTHANEE A, et al. Water Use by Monocropped and Intercropped Cowpea and Sorghum Grown After Rice [J]. Agronomy Journal, 1990, 82: 664-668.
- [30] GAISER T, BARROS I DE, LANGE F M, et al. Water Use Efficiency of a Maize/Cowpea Intercrop on a Highly Acidic Tropical Soil as Affected by Liming and Fertilizer Application [J]. Plant and Soil, 2004, 263: 165-171.
- [31] DROPELMANN K J, LEHMANN J, EPHRATH J E,

- et al. . Water Use Efficiency and Uptake Patterns in a Runoff Agroforestry System in Arid Environment [J]. Agroforestry Systems, 2000, 49: 223 - 243.
- [32] TSUBO M, MUKHALA E, OGINDO H O. Productivity of Maize-bean Intercropping in a Semi-arid Region of South Africa [J]. Water Sa, 2003, 29 (4): 381 - 388.
- [33] SAREN B K, JANA P K. Effect of Irrigation and Intercropping System on Uield, Water-Use, Concentration and Uptake of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in Maize (*Zea Mays* L.) and Groundnut (*Arachis hypogaea*) Grown as Sole and Intercrop [J]. India Journal of Agricultural Sciences, 1999, 69 (5): 317 - 320.
- [34] 武志杰, 王仕新, 张玉华. 玉米和小麦间作农田水分动态变化的研究 [J]. 玉米科学, 2001, 9 (2): 61 - 63.
- [35] 王照霞, 郭贤仕, 马一凡, 等. 青贮玉米豌豆间作对产量和水分利用效率的影响 [J]. 甘肃农业大学学报, 2005, 40 (4): 492 - 497.
- [36] VENKATESWARLU, BALA S Y S. Productivity of Some Rainfed Crops in Sole and Intercrop Systems [J]. Indian Journal of Agricultural Science, 1990, 60 (2): 106 - 109.
- [37] NASSAR I N, ROBERT HORTON. Salinity and Compaction Effects on Soil Water Evaporation and Water and Solute Distributions [J]. Soil Science Society of America Journal, 1999, 63: 752 - 758.
- [38] JENA D, MISRA C. Effect of Crop Geometry on the Water Balance of the Root Zone of a Pigeon Pea and Rice Intercropping System [J]. Experimental Agriculture, 1988, 24: 385 - 391.
- [39] KUSHWAHA B L, DE R. Studies of Resource Use and Yield of Mustard and Chickpea Grown in Intercropping Systems [J]. Journal of Agricultural Science, 1987, 108: 487 - 495.

#### (上接第259页)

元江发病芦荟及其根际土壤与海南健康芦荟及其根际土壤养分分析结果显示,海南芦荟根际土壤中碱解氮、有机质、速效钾、速效钙、速效镁、速效硼的含量较高,而元江发病芦荟根际土壤中速效磷较高;海南健康芦荟叶片中K, B含量较高,分别是元江发病芦荟的3.36~16倍和1.66~2.26倍。进一步说明,元江芦荟基地土壤肥力低,养分供应不平衡,大量施磷,K, B, Ca, Mg缺乏是根腐病肆虐的重要原因之一。

#### 4 结论

(1) 元江库拉索芦荟根腐病发病率与根际土壤中速效磷含量呈显著的正相关,与土壤中其它速效养分和叶片中养分含量无显著的相关性。

(2) 与海南健康芦荟及其根际土壤养分状况相比,元江芦荟病株根际土壤中碱解氮、有机质、速效钾、速效钙、速效镁、速效硼的含量,以及叶中钾、硼含量明显偏低,但其根际土壤中速效磷含量较高。

(3) 元江库拉索芦荟根腐病可能主要与土壤肥力低,施肥不合理,大量施磷引起的芦荟植株养分失调,钾、硼、钙、镁缺乏,病菌滋生和抵

抗力下降有关。

#### [参考文献]

- [1] 李天东. 芦荟的药理作用及其应用研究进展 [J]. 中国现代医学杂志, 2007, 17 (23): 2881 - 2886.
- [2] 熊佑清. 芦荟 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [3] 姬光海, 吴亚鹏, 张乃明, 等. 芦荟根腐病原菌的鉴定 [J]. 植物病理学报, 2007, 37 (2): 207 - 209.
- [4] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [5] 沈其荣. 土壤肥料学通论 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2001.
- [6] 周鸣铮. 土壤肥力测定与测土施肥 [M]. 北京: 农业出版社, 1989.
- [7] 陆景陵. 植物营养学 [M]. 北京: 农业大学出版社, 1994.
- [8] 曹秋华, 丁德荣, 韦英梅. 氮磷钾肥对芦荟产量的影响 [J]. 西南农业大学学报 (自然科学版), 2005, 27 (4): 444 - 446.
- [9] 郑险峰, 高亚军, 王林权, 等. 不同施肥水平对立木芦荟生长的影响 [J]. 西北农林科技大学学报, 2001, 29 (4): 47 - 50.