

## 不同生育期玉米大豆间作土壤水势变化特征\*

杨 楠<sup>1</sup>, 郑 毅<sup>1,2\*\*</sup>, 汤 利<sup>1</sup>

(1. 云南农业大学 资源环境学院, 云南 昆明 650201; 2. 西南林业大学, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 土壤水的移动影响作物对养分的吸收, 通过土水势的测定可以为作物从土壤中吸收养分提供重要参考。本文通过盆栽试验, 研究了玉米和大豆间作时作物在玉米苗期、拔节期、大喇叭口期、抽穗期、成熟期土壤水势上的变化特征。结果表明: 玉米大豆间作具有明显的间作产量优势。与相应的单作相比, 间作玉米籽粒产量、玉米叶片生物量和大豆叶片生物量, 分别提高 41.90%, 22.19%, 59.57%, 表明了玉米大豆间作体系中玉米具有产量竞争优势。在玉米大豆间作中, 除苗期第 1 天到第 5 天、拔节期第 1 天到第 5 天、成熟期第 1 天到第 10 天外, 其它生育期玉米的土壤水势低于大豆。这表明在玉米旺盛生长时期(拔节盛期、大喇叭口期、抽穗期), 土壤水分都是从大豆向玉米移动。玉米相对于大豆对土壤水分有更强的竞争能力。

**关键词:** 玉米; 大豆; 间作; 土壤水势

中图分类号: S 504.4; S 506.1 文献标识码: A 文章编号: 1004 - 390X (2011) 05 - 0689 - 05

## Soil Water Potential Characteristics of Maize and Soybean Intercropping at Different Growth Period

YANG Lei<sup>1</sup>, ZHENG Yi<sup>1,2</sup>, TANG Li<sup>1</sup>

(1. College of Resource and Environment, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;  
2. Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

**Abstract:** Soil water movement influences nutrient uptake of crops and measurement of soil water potential can indicate the trend of nutrient uptake by crops from the soil. Pot experiment was conducted to study the characteristics of soil water potential during seedling, jointing, bell-mouthed, heading and ripening stages in maize and soybean intercropping. The results showed that maize and soybean intercropping system had advantage of yield. Yield of intercropped maize grain, biomass of intercropped maize and soybean Leaf were higher than corresponding monocropping, increased by 41.90%, 22.19% and 59.57%, which indicated that maize had advantage of yield competition in maize and soybean intercropping. Soil water potential of intercropped maize were lower than intercropped soybean during all growth stage except the 1<sup>st</sup> day to 5<sup>th</sup> in seedling stage, the 1<sup>st</sup> day to 5<sup>th</sup> day in jointing stage, the 1<sup>st</sup> day to 10<sup>th</sup> in ripening stage. The results indicated that soil water movement was from the soil around soybean to the soil around maize in hearty stage of maize (jointing hearty stage, bell-mouthed stage, heading stage). In comparison with soybean, maize has stronger water competition capability.

收稿日期: 2010 - 04 - 13 修回日期: 2010 - 05 - 29 网络出版时间:

\* 基金项目: 国家自然科学基金 (30860157); “973” 计划科研专项 (2011CB100405); 公益性 (农业) 科研专项 (201103003)。

作者简介: 杨楠 (1985 -), 男, 云南大理人, 硕士, 主要从事水分 (养分) 资源利用的研究。

E-mail: dalihanqing@163.com

\*\* 通讯作者 Corresponding author: 郑毅 (1964 -), 男, 广东梅州人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水土保持研究。E-mail: yzheng@ynau.edu.cn。

网络出版地址:

**Key words:** maize; soybean; intercropping; soil water potential

间作在农业生产中占有重要地位,其利用各类植物的不同组合构成多种植物、多层次、多功能的人工复合群体,利用不同植物在生长过程中形成的空间差、时间差,有效地发挥光肥、水、气、热等有限农业资源的生产潜力<sup>[1-2]</sup>。玉米/大豆间作是一种代表高秆和矮秆作物、禾本科和豆科作物间作的典型搭配,具有充分利用光、热、水、土资源,大幅提高生产效率、促进养分吸收利用、活化土壤难溶性磷的特点<sup>[3-5]</sup>。

土壤水势反映了土壤对水分的吸纳能力及土壤水分对作物的供给状况,是进行水分控制时比较常用的参考指标,是作物生长、农田蒸发和作物灌溉方面的重要参数<sup>[6]</sup>。目前测定土壤水势的方法有张力计法、离心机法、压力膜法、滤纸法及热电偶湿度计法等<sup>[7]</sup>。前人已对土壤水势进行了大量的研究,主要集中在土壤水势对植株的氮磷钾吸收<sup>[6]</sup>、生长<sup>[8]</sup>、产量<sup>[9-10]</sup>、水分生态<sup>[11]</sup>、光合作用特征<sup>[12]</sup>的影响等方面。而对间作体系土壤水势的研究较少。周绍松等进行了小麦蚕豆间作、大麦蚕豆间作对土壤水势的研究<sup>[13]</sup>。本试验研究了玉米大豆间作这种典型的禾本科豆科作物间作模式在各个生育期土壤水势的变化规律,以为玉米大豆间作体系的水肥调控和农业生产提供一定的理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验时间与地点

盆栽试验于 2008 年 5 月~2008 年 9 月在云南农业大学植物营养系温室进行。

### 1.2 供试土壤与作物品种

供试土壤为水稻土,碱解氮 115.14 mg/kg,速效磷 32.12 mg/kg,速效钾 140.11 mg/kg,有机质 13.52 g/kg, pH 值为 7.37,质地为粘土。供试玉米为云糯 5 号,大豆为滇豆 3 号。

### 1.3 试验设计与处理

试验设 3 个处理,即:玉米大豆间作,玉米单作,大豆单作。每个处理 4 次重复,共 12 个处理。玉米大豆间作每盆留玉米 1 株、大豆 3 株,玉米单作每盆留 2 株,大豆单作每盆留 6 株。

### 1.4 播种与管理

玉米和 大豆种子在播种前用 10% 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 浸

泡 20 min 进行表面消毒,用蒸馏水洗净后,再用清水浸种 24 h 后进行播种。玉米和 大豆于 2008 年 5 月 22 日播种,大豆于 2008 年 8 月 21 日收获,玉米于 2008 年 9 月 5 日收获。除用杀虫剂除蚜虫外,期间不再用任何杀菌剂。

### 1.5 施肥与浇水

试验用盆的规格:上部直径为 35 cm,下部直径为 10.9 cm,高为 23.5 cm。每盆装土 10 kg,供试土壤磨碎过 5 mm 的筛子。

施肥量为氮肥 0.32 g/kg 土 (3.20 g/盆),磷肥为 0.94 g/kg 土 (9.40 g/盆),钾肥为 0.3 g/kg 土 (3 g/盆)。其中氮肥分两次施用,第 1 次作为基肥施用,施用量为 1.6 g/盆,第 2 次在玉米抽穗期施用,施用量为 1.6 g/盆。磷肥和钾肥全部作为基肥一次施用。基肥与土充分混匀后装盆。

播种时浇水至田间持水量的 60%,之后各个生育期初期土壤水势达 0 kPa 时,每个处理的浇水量一致,范围从 300~700 mL。各个生育期中期浇水量一致,范围从 300~700 mL<sup>[14-15]</sup>。

## 1.6 测定项目与方法

### 1.6.1 土壤水势测定

本试验采用张力计(土壤湿度计)测土壤水势。张力计由集气管、真空表和陶土管组成。玉米大豆间作处理在每盆两种作物靠近盆边缘一侧土中央各埋入 1 根张力计;玉米和 大豆单作处理在盆中央埋入 1 根张力计,张力计埋入土壤深度为 20 cm。从玉米和 大豆出苗开始,分苗期、拔节期、大喇叭口期、抽穗期、成熟期动态测定土壤水势值。测定时间为上午 9 时。

土壤水势(kPa) = 张力计读数(mmHg) × 0.133 32

### 1.6.2 玉米的生物学产量竞争能力

玉米相对于大豆的生物学产量竞争能力:

$$A_{wf} = (Y_{iw}/Y_{sw}) - (Y_{if}/Y_{sf})$$

式中, $Y_{iw}$ 和 $Y_{sw}$ 分别为间作玉米和单作玉米的生物学产量, $Y_{if}$ 和 $Y_{sf}$ 分别为间作大豆和单作大豆的生物学产量。若 $A_{wf} > 0$ ,表明玉米的竞争能力强于大豆;若 $A_{wf} < 0$ ,表明玉米的竞争能力弱于大豆<sup>[13]</sup>。

## 1.7 数据处理

试验数据采用 Excel 和 SPSS 13.0 数据分析软件进行 t 检验分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 玉米与大豆间作的生物量、产量优势和生物量竞争力

从表1分析可知,  $P=0.05$ 时, 单间作玉米叶片生物量的  $t$  值为 3.061, 说明在 5% 水平上间作玉米叶片和单作玉米叶片差异显著 ( $P < 0.05$ ), 与单作相比, 间作叶片生物量增幅为 22.19%。 $P=0.05$ 时, 单间作玉米籽粒生物量的  $t$  值为 3.385, 说明在 5% 水平上间作玉米籽粒和单作玉米籽粒差异显著 ( $P < 0.05$ ), 与单作相比, 间作籽粒产量增幅为 41.90%。 $P=0.05$ 时, 单间作大豆茎秆生物量的  $t$  值为 5.108, 说明在 5% 水平上间作大豆茎秆和单作大豆茎秆差异显著 ( $P < 0.05$ )。 $P=0.05$ 时, 单间作大豆叶片生物量的  $t$  值为 3.079, 说明在 5% 水平上间作大豆叶片和单作大豆叶片差异显著 ( $P < 0.05$ ), 与单作相比, 间作叶片生物量增幅为 59.57%。而在 5% 水平上间作大豆和单作大豆的籽粒产量差异不显著, 与单作相比, 间作籽粒产量增幅为 2.21%。表明了玉米大豆间作体系中玉米具有产量竞争优势。

表1 间作和单作玉米和大豆在成熟期的生物量、产量和生物量竞争力

Tab.1 The biomass, yields and  $A_{wf}$  of maize and soybean in ripening stage g/盆

处理 treatment	叶片生物量 biomass of leaf	茎秆生物量 biomass of straw	籽粒产量 yield of grain	$A_{wf}$
单作玉米 monocropping maize	18.07 a	20.10 a	47.23 a	0.25
间作玉米 intercropping maize	22.80 b	20.04 a	67.02 b	
单作大豆 monocropping soybean	2.35 a	2.71 a	13.6 a	
间作大豆 intercropping soybean	3.75 b	1.80 b	13.9 a	

注: 表中不同的字母表示差异达到 5% 显著水平,  $n=6$ 。

Note: Different letters within the same column indicate significant difference at the  $P < 0.05$  level,  $n=6$ .

本试验玉米相对于大豆的生物学产量竞争能力  $A_{wf}$  为 0.25, 表明在玉米大豆间作体系中, 玉米的生物学产量竞争能力强于大豆。

### 2.2 各生育期玉米、大豆间作时的土壤水势变化

图1表明, 苗期第1天到第5天, 玉米和大

豆的土壤水势相当, 第6天玉米的土壤水势低于大豆, 而且在 5% 水平上差异显著, 土壤水势值分别为  $-10.67$  kPa 和  $-7.11$  kPa。第6天之后, 玉米的土壤水势一直低于大豆, 说明从第6天开始, 土壤水分从大豆一侧向玉米一侧迁移。

拔节期第1天到第5天, 玉米和大豆的土壤水势相当, 在第6天开始, 玉米和大豆的土壤水势值在 5% 水平上差异显著, 且玉米低于大豆。第6天之后, 玉米的土壤水势一直低于大豆, 其中, 第16天玉米和大豆的土壤水势值分别  $-69.99$  kPa 和  $-24.66$  kPa, 在 5% 水平上差异最大。说明从第6天开始, 玉米和大豆对土壤水分存在竞争, 玉米处于优势地位, 土壤水分从大豆一侧向玉米一侧迁移。

整个大喇叭口期和抽穗期, 玉米的土壤水势都低于大豆, 下降速度都明显快于大豆。特别在大喇叭口期, 在 5% 水平上这种差异表现得最为突出。说明整个大喇叭口期和抽穗期, 玉米和大豆对土壤水分存在激烈的竞争, 而且玉米占有优势, 土壤水分都是从大豆一侧向玉米一侧迁移。

成熟期第1天到第10天, 玉米和大豆的土壤水势下降速度相当, 第11天开始, 玉米和大豆的土壤水势在 5% 水平上出现差异, 玉米的土壤水势一直低于大豆, 第14天开始, 玉米和大豆的土壤水势有上升趋势, 但是玉米的土壤水势仍然低于大豆, 说明成熟期后期, 土壤水分都是从大豆一侧向玉米一侧迁移。

## 3 讨论

土壤水势表达了土壤水分的能量水平, 可以用来评价土壤水分的迁移方向<sup>[16]</sup>。土壤水势是指土壤水与标准状态水的自由能的差值, 因为土壤水的自由能总是低于标准状态水, 所以土壤水势一般都是负值, 最大值为零。而且由物理学得知, 在孤立系统中中和恒温条件下, 自由能总是由高处向低处移动, 所以土壤水分总是有高处向低处迁移。

本试验研究结果表明, 无论是玉米还是大豆, 都是间作的产量大于单作的产量, 表明了间作有增加产量的优势, 这与已有的研究结果相一致<sup>[17-18]</sup>。并且间作玉米与单作玉米相比, 其产量增幅较显著; 而间作大豆与单作大豆相比, 在施肥量相同的条件下其产量没有显著变化, 说明在玉米大豆间作体系中, 玉米产量竞争力较强。

在玉米大豆间作体系中, 整个生育期玉米与

大豆之间都存在着对土壤水分的竞争，而且玉米在这种土壤水分竞争上处于优势地位。苗期前期玉米和大豆的土壤水势下降速度相当，这可能是苗期初期玉米和大豆对水分的需求都很大。整个大喇叭口期和抽穗期，玉米的土壤水势下降速度都快于大豆，这可能是大喇叭口期和抽穗期是玉米生长最旺盛的时期，对水分的需求量很大的原因。成熟前期，玉米和大豆的土壤水势下降速度

相当，而后期玉米的土壤水势下降速度明显快于大豆，这可能是由于大豆早于玉米成熟，成熟后期大豆需水量明显下降的结果。

已有研究表明，在小麦蚕豆间作体系中，整个生育期小麦与蚕豆之间都存在着对土壤水分的强烈竞争，而且小麦在这种土壤水分竞争上处于优势地位<sup>[13]</sup>。这说明在禾本科豆科间作作物体系中，对土壤水分的竞争上禾本科作物处于优势地位。

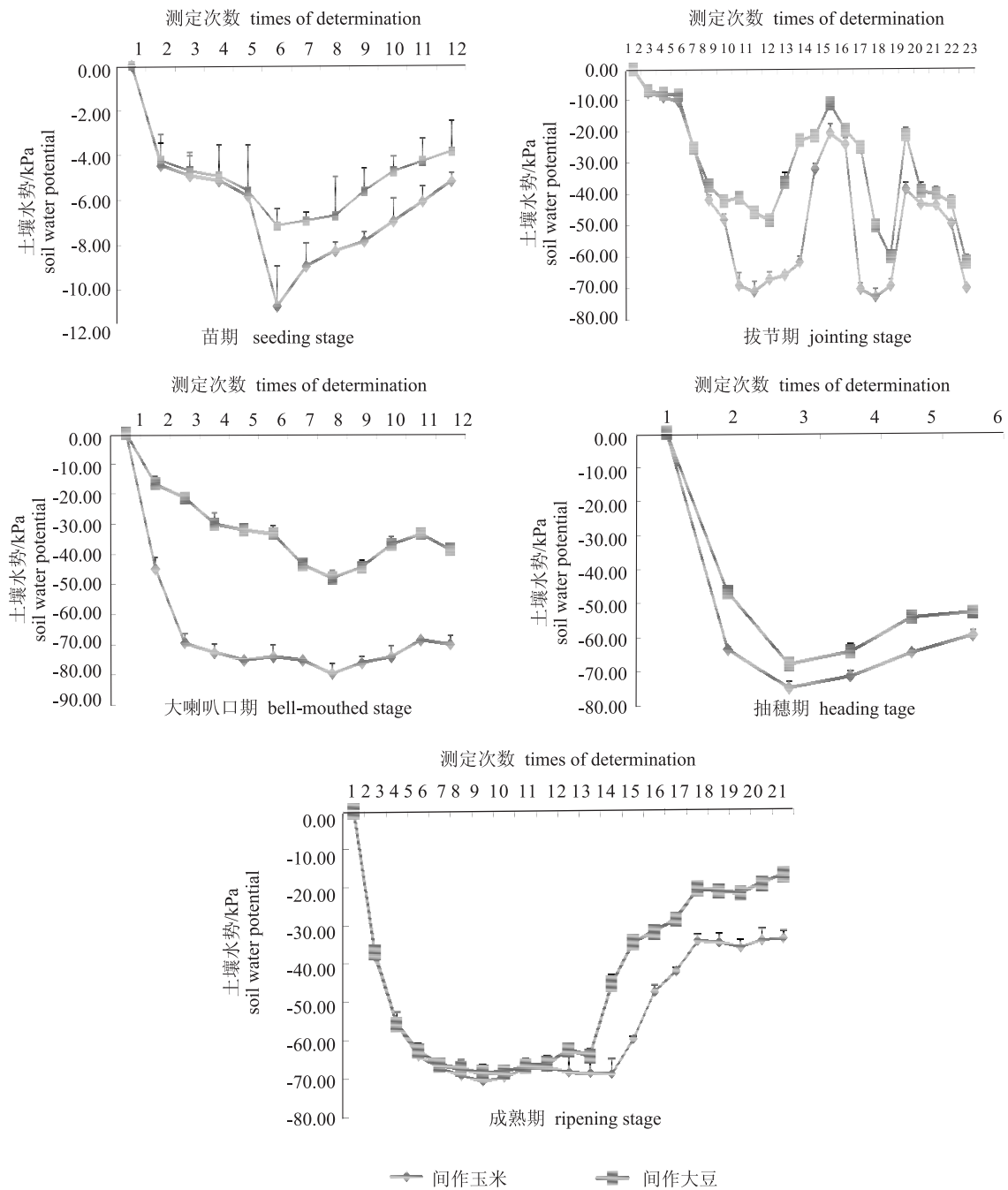


图 1 间作玉米和间作大豆在玉米整个生育期的土壤水势  
Fig. 1 Soil water potential of maize and soybean intercropping in maize whole stage

在玉米大豆间作体系中, 玉米对氮的竞争能力比大豆强<sup>[14]</sup>, 本试验研究结果表明玉米的水分的竞争能力强于大豆, 说明在玉米大豆间作体系中, 禾本科作物对水分和养分具有竞争优势。在豆科和非豆科作物间作模式中, 豆科作物能将其固定的部分氮转移给非豆科作物<sup>[19]</sup>, 而养分是随着水分的迁移被吸收利用的, 因此在今后的研究工作中可以测定整个生育期的土壤水分含量变化以及植株的养分吸收情况。从而可以进一步揭示禾本科豆科作物间作体系。

#### 4 结论

(1) 在本试验条件下, 玉米大豆间作显著增加了作物的产量, 且玉米具有较强的生物学产量竞争力。间作玉米与单作玉米相比, 籽粒产量增幅为41.90%。间作大豆与单作大豆相比, 籽粒产量增幅为2.21%。玉米对大豆的生物学产量竞争能力为0.25。

(2) 在玉米大豆间作体系中, 整个生育期, 玉米和大豆都存在对土壤水分的竞争。在苗期后期、拔节期后期、大喇叭口期、成熟中期, 间作玉米相对于间作大豆对土壤水分的竞争都比较激烈。这表明在玉米大豆间作体系中, 玉米相对于大豆对土壤水分有更强的吸收能力。

#### 【参考文献】

- [1] LONG L, LI S M, SUN J H, et al. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104 (27): 11192 - 11196.
- [2] 唐劲驰, MBOREHA I A, 余丽娜, 等. 大豆根构型在玉米/大豆间作系统中的营养作用 [J]. *中国农业科学*, 2005, 38 (6): 1196 - 1203.
- [3] 崔远萍, 陈颖, 赵利晖, 等. 钼肥对玉米大豆间作体系的增产效应 [J]. *山地农业生物学报*, 2004, 23 (4): 293 - 299.
- [4] 苏艳红, 黄国勤, 刘秀英, 等. 红壤旱地玉米大豆间作系统的增产增收效应及其机理研究 [J]. *江西农业大学学报*, 2005, 27 (2): 210 - 213.
- [5] 聂艳丽, 郑毅, 汤利. 玉米大豆间作体系施用麦根酸对红壤磷的活化 [J]. *云南农业大学学报*, 2004, 19 (2): 202 - 206.
- [6] 冯利平, 康跃虎, 王国栋, 等. 滴灌条件下土壤水势对萝卜 N, P, K 吸收的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2004, 22 (4): 80 - 85.
- [7] 张富仓, 李志军, 康绍忠. 用热电偶湿度计测定土壤水势的方法研究 [J]. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2001, 29 (1): 55 - 58.
- [8] 书勤, 康跃虎, 刘士平. 华北平原滴灌条件下土壤水势对萝卜生长的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2005, 23 (1): 16 - 27.
- [9] 程建平, 曹凑贵, 蔡明历, 等. 不同土壤水势与氮素营养对杂交水稻生理特性和产量的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14 (2): 199 - 206.
- [10] 郑桂萍, 李红宇, 刘丽华, 等. 土壤水势对寒地水稻穗部性状及产量的影响 [J]. *中国水稻科学*, 2006, 20 (4): 417 - 423.
- [11] 崔晓阳, 宋金凤, 屈明华. 土壤水势对水曲柳幼苗水分生态的影响 [J]. *应用生态学* 2004, 15 (12): 2237 - 2244.
- [12] 崔晓阳, 宋金凤, 张艳华. 不同土壤水势条件下水曲柳幼苗的光合作用特征 [J]. *植物生态学报*, 2004, 28 (6): 794 - 802.
- [13] 周绍松, 李永梅, 郑毅, 周敏. 小麦/蚕豆间作对土壤水势的影响 [J]. *灌溉排水学报*, 2008, 27 (3): 97 - 99.
- [14] 李少明, 赵平, 范茂攀, 等. 玉米大豆间作条件下氮素养分吸收利用研究 [J]. *云南农业大学学报*, 2004, 19 (5): 572 - 574.
- [15] 赵平, 李少明, 范茂攀, 等. 玉米辣椒间混作条件下钾素养分吸收利用研究 [C] // 郑毅, 汤利. 间作作物的养分吸收利用与病害控制关系研究. 昆明: 云南科技出版社, 2008: 99 - 103.
- [16] FLORIAN C, WERY J, CHANTELOT E, et al. Belowground interactions in a vine (*Vitis vinifera* L.)-tall fescue (*Festuca arundinacea* Shreb.) intercropping system: Water realation and growth [J]. *Plant and Soil*, 2005, 276 (1/2): 205 - 217.
- [17] 刘均霞, 陆引罡, 远红伟, 等. 玉米大豆间作条件下磷素的吸收利用 [J]. *山地农业生物学报*, 2007, 26 (4): 288 - 291.
- [18] 卢秉生, 李妍妍, 丰光. 玉米大豆间作系统产量与经济效益的分析 [J]. *辽宁农业职业技术学院学报*, 2006, 8 (4): 4 - 6.
- [19] 李隆, 李晓林, 张福锁, 等. 小麦大豆间作条件下作物养分吸收利用对间作优势的贡献 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2000, 6 (2): 140 - 146.