

## 玉米大豆间作对辽西地区作物生长和产量的影响

刘 洋<sup>1</sup>, 孙占祥<sup>1</sup>, 白 伟<sup>1</sup>, 郑家明<sup>1</sup>, 侯志研<sup>1</sup>, 张 莹<sup>2</sup>, 文 凤<sup>2</sup>

(1. 辽宁省农业科学院 耕作栽培研究所, 辽宁省旱作节水工程中心, 辽宁 沈阳 110161; 2. 沈阳农业大学 土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110161)

**摘 要:**在大田试验条件下,研究了玉米||大豆间作对辽西地区作物生长和产量的影响。结果表明:间作对玉米、大豆各项生长指标均有不同程度的影响;间作模式玉米的产量及产量性状指标均高于单作模式,尤其边行1的优势更为明显;灌溉条件与雨养条件下对比发现,间作模式下玉米产量性状指标差异不显著,而单作模式下穗长、穗粒数和产量灌溉处理高于雨养处理,并达显著水平。间作种植的大豆产量较单作种植有所下降,灌溉处理的间作模式比单作模式减产15.49%,雨养处理间作模式比单作模式减产29.76%;间作模式在灌溉条件下水分利用效率高于单作模式;综合分析表明辽西地区玉米大豆间作4:4模式是提高产量和增加效益的适宜模式。

**关键字:**玉米;大豆;间作;作物生长;产量

**中图分类号:**S565.1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2011)02-0224-05

## Effect of Maize and Soybean Interplanting on Crops Growth and Yield in Western Liaoning Province

LIU Yang<sup>1</sup>, SUN Zhan-xiang<sup>1</sup>, BAI Wei<sup>1</sup>, ZHENG Jia-ming<sup>1</sup>, HOU Zhi-yan<sup>1</sup>, ZHANG Ying<sup>2</sup>, WEN Feng<sup>2</sup>

(1. Liaoning Province Dry Saving Water Engineering Center, Tillage and Cultivation Research Institute, Liaoning Academy of Agricultural Sciences, Shenyang 110161; 2. College of Soil and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, Liaoning, China)

**Abstract:** In conditions of the field experiment, Investigated the effect of maize and soybean interplanting on their growth and yield in western Liaoning province. The result showed that intercropping had different influences on growth traits of maize and soybean, and maize yield and yield character under interplanting mode was higher than the single model, especially in border row 1. Comparing irrigation with rainfed conditions, maize yield characters had no significant difference under interplanting mode; however, ear length, grains per ear and yield under irrigation treatment were significantly higher than rain-fed mode. Interplanting's soybean yield was lower than monoculture, the number in irrigation and rain-fed mode reduced 15.97% and 29.76%, respectively. Water use efficiency for interplanting was higher than single mode under irrigation condition. It showed that the best mode of improving yield and efficiency was 4:4 maize and soybean interplanting in western Liaoning province.

**Key words:** Maize; Soybean; Interplanting; Crops growth; Yield

间作是一种在时间和空间上实现种植集约化的种植方式,能够提高光能利用率,同时可充分地利用光、温、水、肥等资源,从而提高单位面积产出效率<sup>[1-3]</sup>,玉米||大豆间作种植在充分利用光、热、水和养分资源的同时,可实现粮油同步增产。因此研究玉米||大豆间作对作物生长和产量的影响有着重要意义。国内外学者对玉米||大豆间作做了大量的研究,高阳等用微型蒸渗仪研究了玉米||大豆间作群体土壤表面的蒸发情况<sup>[4]</sup>。逢焕成、李增嘉等得出了玉米||大豆间作的平均透光率比单作玉米高10%~20%<sup>[5-6]</sup>,谢永利等研究了在间作群体中,互补与竞争效应使间作群体干物质积累速度发生变化,使玉米由于遮阴而引起大豆光合效率下降的同时,在生育中、后期干物质积累速度减慢<sup>[7]</sup>。

但关于辽西地区玉米||大豆间作效应的研究鲜有报道。该研究对辽西地区玉米和大豆间作对作物生长和产量的影响进行了研究,以期探索该地区合理的间作模式提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 供试材料

供试玉米品种为铁研24、大豆品种为铁丰29,均为当地主栽品种。

#### 1.2 试验设计

试验于2009年4月~10月在辽宁省农科院阜新旱作农业试验区进行,属辽西地区,该地区属温带季风大陆性气候区,10℃以上积温为2 900~

收稿日期:2010-12-08

基金项目:农业部公益性行业科研专项资助项目(200803028);辽宁省科技攻关资助项目(2008212002);辽宁省自然科学基金资助项目(20092021);国家科技支撑计划资助项目(2006BAD29B06)。

第一作者简介:刘洋(1972-),男,副研究员,主要从事旱作农业研究。E-mail:ly091@hotmail.com。

通讯作者:孙占祥(1967-),男,研究员,博士生导师,主要从事旱作节水农业研究。E-mail:sunzhanxiang@sohu.com。

3 400℃,无霜期为 135~165 d,5~9 月份日照时数为 1 200~1 300 h,全区土地面积约为  $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,耕地面积约为  $6.897 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,土地和光热资源十分丰富。但年降水量仅为 300~500 mm,且降水变率较大,旱灾频繁。区域内年降水量的总分布趋势为从东部到西部逐渐递减,东部的康平、法库年降水量为 450~500 mm,中部的阜新周边地区为 350~500 mm,而西部的朝阳地区仅为 300~400 mm,试验土为砂壤土,地势平坦,无灌溉条件。其理化性质为有机质 1.3%,全氮  $0.161 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效氮  $79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效磷  $72.7 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,速效钾  $219 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,pH 7.3,田间持水量 30%,容重  $1.28 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

试验采用裂区试验设计,主区为种植模式,分别为单作大豆(SSB)、单作玉米(SM)和玉米/大豆间作(玉米用 IM 表示、大豆用 ISB 表示),裂区为充分灌溉(I)和雨养(R)2 个水分条件(充分灌溉为 1 m 土层的含水量保持在田间持水量的 75%左右;雨养处理为单纯依靠自然降水,2009 年全年降水量为 251.2 mm),1 表示间作的第 1 行,2 表示间作的第 2 行。各处理编号为,SSB-I,SSB-R,SM-I,SM-R,IM-I(ISB-I)-1,IM-R (ISB-R)-2。单作处理设置 3 次重复,每小区面积为  $60 \text{ m}^2$ ,间作处理设 3 个间作条带,种植行比为 4:4,面积为  $240 \text{ m}^2$ 。小区周围设 20 cm 高田埂,每个小区四周埋设 1 m 深防水板并设置 1 m 隔离带,以防止田间径流和土壤水侧向渗漏。玉米、大豆的播种日期分别为 4 月 28 日和 5 月 6 日。种植密度:单作和间作的行间距均为 50 cm,玉米株距 40 cm;大豆穴距 11 cm。播种时施磷酸二铵(含 N 18%, $\text{P}_2\text{O}_5$  46%)和三元复合肥(含 N 15%, $\text{P}_2\text{O}_5$  15%, $\text{K}_2\text{O}$  15%)各  $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 作为种肥,玉米拔节期施尿素(含 N 46%) $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其它管理为常规田间管理。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤理化性质 参照劳家桢《土壤农化分析手册》<sup>[8]</sup>进行测定。

1.3.2 株高测定 玉米、大豆主要生育时期,测定 10 株挂牌植株的株高(为地面到最上部展开叶伸直的最高点),并测定边行株高。

1.3.3 叶面积测定 玉米采用长宽系数法,于玉米主要生育时期测量,大豆采用打孔称重法,于玉米测定的相应时期测定。

1.3.4 产量测定及考种 玉米:每个小区取 10 穗进行常规考种,产量以考种单株产量折算。大豆:每个小区取 10 株进行常规考种,产量以考种单株产量折算。边行处取 10 株进行考种,产量以考种单株产量折算。

### 1.4 数据分析

试验数据用 Excel 2003 进行整理分析并作图,

用 SPSS 15.0 进行统计分析,多重比较采用最小显著差异法(LSR)。

## 2 结果与分析

### 2.1 玉米大豆间作对玉米株高的影响

从表 1 可以看出,除生育初期外,各生育时期间作玉米株高均低于单作玉米。说明玉米在单作状态下,由于株型、生育期基本一致,植株行间产生遮阴,光照减弱,较强烈的竞争促进其伸长生长。而间作玉米在群体中属于优势作物,其伸长生长表现不明显。生育初期,间作和单作的玉米株高差异不显著;拔节期株高迅速增长,单作玉米株高要大于间作,并达到极显著水平,同时单作模式的灌溉和雨养处理之间差异也达到极显著水平。抽雄期延续上一阶段的增长趋势,各处理间差异达到极显著水平。孕穗期之后营养生长转为生殖生长,株高增长速度缓慢,这一阶段单作玉米株高依然大于间作,各处理之间差异仍达到极显著水平。这说明随着植株的生长,间作模式和灌溉条件均对株高产生影响。

表 1 不同模式下玉米株高在各生育时期表现情况

Table 1 Variation of plant height of maize in different growth stage (cm)

处理	5月21日	6月7日	6月28日	7月26日	8月27日	9月18日
Treatment	May 21th	Jun. 7th	Jun. 28th	Jul. 26th	Aug. 27th	Sep. 18th
SM-I	15.40 bcAB	81.33 aA	194.07 aA	291.00 aA	295.00 aA	298.00 aA
SM-R	12.50 cB	79.00 aA	184.98 bB	245.50 cC	257.50 cC	263.50 cC
IM-I-1	19.83 aA	78.83 aA	176.01 cC	274.50 bB	278.50 bB	282.50 bB
IM-I-2	19.83 aA	78.83 aA	175.34 cC	274.50 bB	278.50 bB	282.50 bB
IM-R-1	17.17 abAB	78.33 aA	173.99 cdC	232.50 dD	240.50 dD	253.50 dD
IM-R-2	17.17 abAB	78.33 aA	168.42 dC	232.50 dD	240.50 dD	253.50 dD

同列数字后的不同大小写字母分别代表在 0.01 和 0.05 水平差异显著。下同。

Values within a column followed by different capital and lowercase letters are significantly different at 0.01 and 0.05 probability level, respectively. The same as follow.

### 2.2 玉米大豆间作对玉米叶面积的影响

从图 1 可以看出,在播后 38 d,由于植株较小,叶片较少,各处理间的玉米单株叶面积差值较小,随着植株的生长,叶片数目的增加,玉米单株叶面积也不断增加,在播后 87 d 左右达到峰值,之后各处理有不同程度的减小趋势,生育期内单作玉米灌溉处理一直高于其它处理,并且生育末期下降程度最小,仍保持较高数值。各测定时期相同水分条件下,单作模式均高于间作模式;在播后 60 和 119 d,各处理间差异达到极显著水平,其中播种后 119 d 灌溉条件下玉米单作模式比间作模式叶面积高出

22.91%。单作模式、间作模式在整个测定时期均表现为灌溉处理的单株叶面积高于雨养处理,并且除播后38和87d外其它测定时期差异均达到极显著水平,播后119d单作模式的灌溉处理叶面积比雨养处理高出27.08%。

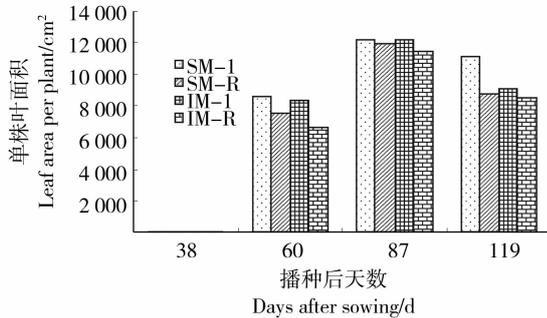


图1 不同模式下玉米单株叶面积变化情况

Fig. 1 Variation of leaf area per plant of maize in different patterns

表2 不同模式下玉米产量性状情况

Table 2 Yield characters of maize in different patterns

处理 Treatment	穗长 Ear length/cm	穗粗 Ear diameter/cm	轴粗 Axis diameter/mm	穗粒数 Grains per ear	百粒重 100-grain weight/g	产量 Yield/kg · hm <sup>-2</sup>
SM-I	20.56bcABC	50.79bAB	30.36bB	734.08bB	26.36bAB	9 900.03abAB
SM-R	19.08dC	49.88bB	30.33bB	666.21cB	26.20bB	7 825.56cB
IM-I-1	22.49aA	52.96aA	32.25aA	801.36aA	32.42aA	14 286.23aA
IM-I-2	20.02bcdBC	50.75bAB	31.51abAB	752.99bAB	28.59abAB	9 682.57abAB
IM-R-1	21.31abAB	51.55abAB	31.46abAB	739.47bAB	28.95abAB	10 711.70abAB
IM-R-2	19.17cdC	50.32bAB	30.88bAB	693.49bcB	28.37abAB	8 495.11bcB

#### 2.4 玉米大豆间作对大豆株高的影响

从图2可以看出,在全生育期间作模式的大豆株高均高于单作模式,这说明大豆在间作模式中属于下位作物,由于玉米的遮阴作用,对光照有强烈的竞争,促使大豆伸长生长明显。间作模式中,在玉米边行负效应的作用下,使得大豆边行1的株高均低于边行2,在播后79d差异达到极显著水平。总体规律是间作边行2 > 间作边行1 > 单作模式,这说明在大豆作为矮秆作物在间作群体中受高秆作物玉米的胁迫较大,表现在株高上的负效应明显。此外,各模式中灌溉处理的株高均高于雨养,总体而言对单作模式的影响较小,对间作模式的影响较为明显。其中仅在播后52d单作模式灌溉处理比雨养处理高出15cm(33.94%),其它测定时期均相差无几;间作模式中灌溉对边行1和边行2的影响大体一致,边行1和边行2均在播后79d差异最大,说明此时株高的生长对水分较为敏感,适量灌水促进植株的增长。

#### 2.3 玉米大豆间作对玉米产量的影响

从表2可以看出,相同水分条件下,间作玉米的穗长、穗粗、轴粗、穗粒数、百粒重和产量均高于单作模式,并且边行1的优势更为明显;这表明间作后玉米大豆群体高矮相间,改变了单一作物平面受光的状态为立体受光结构,增加了上位作物玉米的侧面受光能力,同时改变了田间小气候,加强了群体水气与外界空气的交换能力,为上位作物玉米提供了有利的生长条件,特别使玉米在靠近边行处表现出增产能力,边行1的产量比单作玉米雨养处理高出36.88%。不同种植模式灌溉处理与雨养处理对比发现,间作模式二者之间各产量性状指标差异不显著,而单作模式下穗长、穗粒数和产量灌溉处理高于雨养处理,并达显著水平,由此得出,间作模式玉米对水分的敏感程度要低于单作模式。

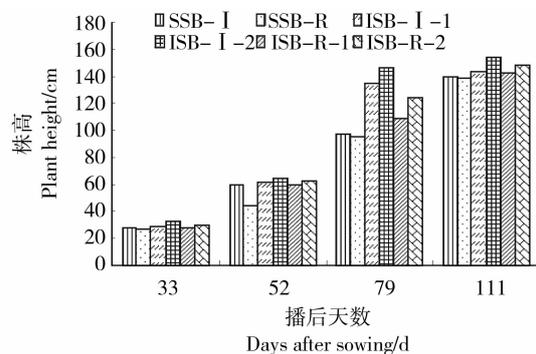


图2 不同模式下大豆株高生育期内变化情况

Fig. 2 Variation of plant height of soybean in different growth stage

#### 2.5 玉米大豆间作对大豆叶面积的影响

表3结果表明,大豆单株叶面积的总体变化规律是,单作模式高于间作模式,在生育初期(6月10日),仅相同水分条件下的单作模式和间作模式差异显著,除此之外,各处理间差异都达到了极显著水平。说明间作模式对大豆单株叶面积的影响明显,间作模式下大豆受到上位作物玉米的胁迫,大

豆叶片生长受限,在播后 119 d(8 月 27 日)单作模式大豆单株叶面积甚至达到间作模式的 2 倍多。其中各种植模式灌溉条件下大豆单株叶面积均高于雨养条件,并且除生育初期外,其它测定时期单作、间作模式不同水分条件间差异均达到了极显著水平,由此可见灌溉处理对单作和间作模式下大豆单株叶面积影响显著。

表 3 不同模式下大豆单株叶面积变化情况

Table 3 Variation of leaf area per plant of soybean in different patterns (cm<sup>2</sup>)

处理	6 月 10 日	6 月 29 日	7 月 26 日	8 月 27 日
Treatment	Jun. 10th	Jun. 29th	Jul. 26th	Aug. 27th
SSB-I	56.97aA	77.69aA	298.55aA	292.63aA
SSB-R	49.84abAB	66.64bB	195.64bB	262.60bB
ISB-I	42.34bcAB	63.40cC	169.62cC	134.42cC
ISB-R	35.90cB	51.46dD	169.29cC	103.83dD

## 2.6 玉米大豆间作对大豆产量的影响

从表 4 可以看出,间作种植的大豆产量较单作种植有所下降,灌溉处理的间作模式比单作模式减产 15.49%,雨养处理间作模式比单作模式减产 29.76%;间作模式中边行 1 的灌溉和雨养处理分别比边行 2 减产 13.5% 和 24.49%。说明玉米大豆间作使大豆减产,玉米大豆间作模式下,大豆受到玉米的遮阴作用,负边际效应明显,间作大豆边行 1 的各项指标较单作模式均减小很多,过渡到边行 2 有所改善,此外雨养条件下由于供水不足,加剧了减产。其余四项产量性状指标对比,单作模式均高于间作模式;间作模式中边行 2 高于边行 1。LSR 检验结果表明,株高和单株荚数在各处理间差异不明显;分枝数只有单作灌溉处理和间作雨养边行 1 之间差异显著;百粒重和产量指标的 LSR 检验结果相同,单作灌溉、单作雨养与间作雨养边行 1 之间的差异显著,其余各处理之间差异不显著。

表 4 不同模式下大豆产量性状情况

Table 4 Yield characters of soybean in different patterns

处理	株高	主茎分枝数	单株荚数	百粒重	产量
Treatment	Height	Branches of main stem	Pods per plant	100-seed weight/g	Yield /kg · hm <sup>-2</sup>
SSB-I	97.59aA	3.27aA	30.93aA	23.21aA	3 023.48aA
SSB-R	96.78aA	2.73abA	25.47aA	23.07aA	2 856.81aA
ISB-I-1	92.38aA	2.33abA	23.40aA	21.54abA	2 370.12abA
ISB-I-2	95.25aA	2.53abA	25.20aA	22.57abA	2 740.14abA
ISB-R-1	88.99aA	1.33bA	21.67aA	19.24bA	1 726.75bA
ISB-R-2	91.74aA	2.07abA	23.13aA	19.75abA	2 286.78abA

## 2.7 玉米大豆间作对水分利用效率(WUE)和水分经济效益的影响

从表 5 可以看出,总体上玉米单作的水分利用效率最高,其次为玉米大豆间作、最低的为单作大豆,各处理雨养条件的水分利用效率要高于灌溉处理。由于不同作物产量的能量含量不同,其水分利用效率也不同,单纯的以作物产量进行评价,并不能完全反映水分的效益,为此作者对照作物的价格,对作物的水分经济效益进行了比较分析。研究发现尽管大豆的价格较高,但其水分经济效率依然最低。在雨养条件下,单作玉米的水分经济效益最高(3.21 元 · m<sup>-3</sup>),其次为玉米大豆间作,最低的为单作大豆(2.65 元 · m<sup>-3</sup>),其中单作玉米与玉米大豆间作的水分经济效益相差较小,二者与单作大豆的差异较大。灌溉条件下玉米大豆间作的水分利用效率最大(2.85 元 · m<sup>-3</sup>),其次为单作玉米(2.59 元 · m<sup>-3</sup>),最低的为单作大豆(2.05 元 · m<sup>-3</sup>)。灌溉处理和雨养处理对比发现,间作模式对于灌溉水的相对利用效率要高于单作模式,由此说明在一定条件下间作模式的增产潜力要大于单作模式。

表 5 不同种植模式水分利用效率和水分经济效益

Table 5 The water use efficiency and economic benefit in different patterns

种植模式	耗水量	产量	水分利用效率	单价	水分经济效益
Planting pattern	Water consumption	Yield	Water use efficiency	Unit price	Economic benefit
	/mm	/kg · hm <sup>-2</sup>	/kg · m <sup>-3</sup>	/Yuan · kg <sup>-1</sup>	/Yuan · m <sup>-3</sup>
SM-I	590.26 aA	9 900.03aA	1.44 abAB	1.80	2.59 cCD
SM-R	438.57 dD	7 825.56bAB	1.78 aA	1.80	3.21 aA
SSB-I	619.32 bB	3 023.48dD	0.49 cC	4.20	2.05 dD
SSB-R	452.20 cC	2 856.81dD	0.63 cC	4.20	2.65 bcBC
SM(ISB)-I	567.05 bB	7 269.77cBC	1.28 bB	2.22	2.85abAB
SM(ISB)-R	423.20 eE	5 805.09cC	1.37 bB	2.21	3.03 aA

### 3 结论与讨论

间作对玉米、大豆各项生长指标的影响有所不同。玉米生育初期,间作和单作的玉米株高差异不显著;拔节期株高迅速增长,单作玉米株高要大于间作,并达到极显著水平。抽雄期延续上一阶段的增长趋势,各处理间差异达到极显著水平。同时在全生育期内间作模式的大豆株高均高于单作模式。间作模式中玉米和大豆的单株叶面积及叶面积指数均要小于单作模式。相同水分条件下,间作模式的产量及产量性状指标均高于单作模式,尤其边行1的优势更为明显;不同种植模式灌溉与雨养对比发现,间作模式二者之间各产量性状指标差异不显著,而单作模式下穗长、穗粒数和产量灌溉处理高于雨养处理,并达显著水平。这与以往的研究结果<sup>[4,6]</sup>一致。

综合作物耗水总量和产量,评价不同模式下作物的水分利用效率和经济效益得出,间作种植实现了水分的高效利用和经济效益最大化,与高阳等<sup>[9]</sup>的研究结果一致。

综合分析,辽西地区玉米大豆间作4:4模式是提高产量和增加效益的适宜模式。试验结论是2009年在阜新地区遭遇大旱,特别是出现严重的伏旱和秋吊的气候条件下得到的,在正常气候年份下的试验结果还有待于进一步深入研究。

### 参考文献

- [1] 王世军. 玉米大豆不同结构形式的间作研究[J]. 贵州农业科学, 1984(5):15-18. (Wang S J. Study on different structure forms of intercropping corn and soybean[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 1984(5):15-18.)
- [2] 高阳, 段爱旺, 刘祖贵, 等. 单作和间作对玉米和大豆群体辐射利用率及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1):7-12. (Gao Y, Duan A W, Liu Z G, et al. Effect of monoculture and intercropping on radiation use efficiency and yield of maize and soybean [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009,17(1):7-12.)
- [3] 刘秀珍, 张阅军, 杜慧玲, 等. 水肥交互作用对间作玉米、大豆产量的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(3):75-77. (Liu X Z, Zhang Y J, Du H L, et al. Study on yield of fertilization interaction to intercropping maize and soybean [J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2004, 12(3):75-77.)
- [4] 高阳, 段爱旺, 刘祖贵. 玉米/大豆不同间作模式下土面蒸发规律试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(7):44-48. (Gao Y, Duan A W, Liu Z G, et al. Experimental study on soil evaporation of different intercropping patterns for maize and soybean [J]. Transaction of the CSAE, 2008, 24(7):44-48.)
- [5] 逢焕成, 王慎群. 群体高产利用与光能利用[J]. 植物生理学通讯, 1998(4):149-154. (Pang H C, Wang S Q. High yield use and light use in group[J]. Plant Physiology Communications, 1998(4):149-154.)
- [6] 李增嘉, 李凤超, 赵秉强. 小麦、玉米间套作的产量效应与光热资源利用率的研究[J]. 山东农业大学学报, 1998, 29(4):419-426. (Li Z J, Li F C, Zhao B Q. Study on yield effect and the guestrooms warmth wheat and maize[J]. Journal of Shandong Agricultural University, 1998,29(4):419-426.)
- [7] 谢永利, 陈颖. 不同间作方式对玉米产量的影响[J]. 山地农业生物学报, 2004, 23(5):381-385. (Xie Y L, Chen Y. Influence on maize yield under different interplanting mode[J]. Journal of Mountain Agriculture & Biology, 2004, 23(5):381-385.)
- [8] 劳家桢. 土壤农化分析手册[M]. 北京:农业出版社, 1988. (Lao J S. Soil agro-chemistry analysis manual[M]. Beijing: Agriculture Press, 1988.)
- [9] 高阳, 段爱旺, 刘战东, 等. 玉米/大豆间作条件下的作物根系生长及水分吸收[J]. 应用生态学报, 2009, 20(2):307-313(Gao Y, Duan A W, Liu Z D, et al, Crop root growth and water uptake in maize/soybean strip intercropping [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 2(2):307-313.)