

高寒阴湿旱作区马铃薯蚕豆间作模式效益分析

罗爱花, 陆立银, 谢奎忠, 胡新元

(甘肃省农业科学院马铃薯研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要:以马铃薯与蚕豆不同间作模式为对象,研究分析了不同间作模式下马铃薯、蚕豆的光合生理参数、农艺性状等。结果表明:全膜双垄沟播种植方式下马铃薯叶片光合生理活性相对较高,鲜薯产量达 $35\ 131.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,与常规露地垄作种植鲜薯产量 $31\ 302.0\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 差异显著。不同间作模式的土地当量比(LER)均大于1,全膜双垄沟播种植模式土地当量比为2.07,间作增产率达107.17%,间作优势明显。间作可实现土地、劳动力、土壤养分和水热资源的集约化利用。综合考虑投入与产出,高寒阴湿区采用全膜双垄沟播间作模式效益最高,值得推广。

关键词: 高寒阴湿区; 马铃薯; 间作; 效益

中图分类号: S643.6 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)04-0084-05

Analysis on benefit of potato/broad-bean intercropping modes in alpine humid region

LUO Ai-hua, LU Li-yin, XIE Kui-zhong, HU Xin-yuan

(Institute of Potato, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The experiment was conducted to investigate photosynthetic physiological parameters, agronomic characters and land equivalent ratio (LER) of potato and broad bean, and to compare crop output, economic benefit and soil nutrients under different potato/broad-bean intercropping modes, so as to provide theoretical basis and technological support for highly efficient intercropping cultivation of potato in alpine humid region. The results indicated that, under the mode with whole film covering and double ridge-furrow planting, the photosynthetic physiological activity of potato was improved, and the yield of fresh tubers was $35\ 131.5\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, being significantly higher than that of traditional ridge planting mode ($31\ 302.0\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$). The LER of all intercropping modes was higher than 1, in which the LER of whole film covering and double ridge-furrow planting mode was 2.07, and the yield increase rate of intercropping was 107.17%. Therefore, the advantages of intercropping were remarkable, and it was an effective way to realize intensive use of land, labor, soil nutrient, water and heat resources by intercropping. Considering input and output comprehensively, the economic benefit of the intercropping mode with whole film covering and double ridge-furrow planting was the highest, and it was suggested to extend such a mode in alpine humid region.

Keywords: alpine humid region; potato; intercropping; benefit

间作能充分利用两种作物在生理、生态学方面的差异,时空与水肥的互补关系,提高光、温、水、养分等各项资源的利用效率,实现土地、劳动力、土壤养分和水热资源在时间和空间上的集约化利用,具有提高土地产出量及可持续利用性的优势,在我国粮食增长与农业增收中发挥着重要的作用^[1-4]。西北地区高产田的70%~85%是采用间套作种植技术来实现的^[5-6]。作为甘肃高寒阴湿旱作区主栽作物的马铃薯在生产上多采用传统单一栽培模式,随

着产业结构调整和市场的需求,马铃薯生产发展较快,各种间作套种面积迅速扩大,为了摸清马铃薯间作套种的高效立体种植技术、模式和效应,同时也为了充分利用土壤资源,提高土地产出率,增加农民收入,本试验设置不同间作模式研究其对马铃薯主要农艺性状和效益的影响,通过研究高寒阴湿区马铃薯与蚕豆间作模式对其产量、经济效益、土壤养分等的影响,为高寒阴湿区马铃薯高效间作栽培技术提供理论依据和技术支撑,亦为该区土地可持续利用,

收稿日期: 2012-10-23

基金项目: 国家马铃薯产业技术体系(CARS-10)建设专项资金; 甘肃农业科学院院列项目“马铃薯优质高产栽培技术与产业化示范”(nky-0701)

作者简介: 罗爱花(1977—),女,甘肃金塔人,博士,助理研究员,主要从事马铃薯栽培生理研究。E-mail: florancehua@163.com。

减轻马铃薯连作减产及病害,提高单位面积经济效益等提供科学支撑。

1 材料与试验方法

1.1 试验区概况

试验设在定西市渭源县会川镇西北旱作马铃薯科学观测试验站内,年均气温 6.5℃,年均降雨量 550 mm,无霜期 121 d。试验地位于北纬 35°06.545',东经 103°58.778',海拔 2 212 m。试验土壤为黑麻土。前茬作物为马铃薯。

1.2 试验材料

马铃薯品种选用马铃薯陇薯 7 号一级种,蚕豆品种选用临蚕 3 号。

1.3 试验方法

试验设置 5 个处理(详见表 1),3 次重复,每小区 55 m²。蚕豆在 2011 年 3 月 28 日播种,株行距均为 25 cm。马铃薯在 4 月 16 日起垄种植,垄宽 40 cm,垄高 15 cm,垄距 70 cm,株距 33 cm。蚕豆在 8 月 5 日收获,马铃薯在 9 月 27 日收获。播前结合耕耧整地施 N 10 kg·667m⁻²、P 8 kg·667m⁻²,作为基肥结合播种一次性施入。田间管理方法按常规进行。

表 1 试验处理及各处理田间布置描述

Table 1 Description of treatments

处理 Treatments	描述 Description
A: 露地单薯双豆种植 Potato / broad-bean intercropping without film covering	垄面不覆膜单行种植马铃薯,沟内种植双行蚕豆。 The field is not covered by film. Potato is planted in single row on ridges, while broad bean is planted in double rows in furrows.
B: 半膜单薯双豆种植 Potato / broad-bean intercropping with half film covering	垄面覆膜单行种植马铃薯,沟内种植双行蚕豆。 The ridges are covered by film. Potato is planted in single row on ridges, while broad bean is planted in double rows in furrows.
C: 半膜双薯双豆种植 Potato / broad-bean intercropping with half film covering	垄面覆膜双行种植马铃薯,沟内种植双行蚕豆。 The ridges are covered by film. Potato is planted in double rows on ridges, while broad bean is planted in double rows in furrows.
D: 全膜双薯双豆种植 Potato / broad-bean intercropping with whole film covering	垄、沟均覆膜,垄面双行种植马铃薯,沟内双行种植蚕豆。 Both the ridges and furrows are covered by film. Potato is planted in double rows on ridges, while broad bean is planted in double rows in furrows.
E: 露地双薯双豆种植 Potato / broad-bean intercropping without film covering	垄面双行种植马铃薯,沟内双行种植蚕豆。 The field is not covered by film. Potato is planted in double rows on ridges, while broad bean is planted in double rows in furrows.
F: 露地双薯(CK1) Double-row potato without film covering	起垄不覆膜,垄面双行种植马铃薯。 The field is not covered by film. Potato is planted in double rows on ridges.
G: 露地单薯(CK2) Single-row potato without film covering	起垄不覆膜,垄面单行种植马铃薯。 The field is not covered by film. Potato is planted in single row on ridges.
H: 蚕豆单作(CK3) Broad bean	单作条播蚕豆。 Sole cropping of drilling broad bean.

1.4 测定项目及方法

记载马铃薯、蚕豆各生育时期及田间表现。

马铃薯、蚕豆叶片光合生理参数采用美国基因公司生产的 Li-6400XT 便携式光合作用系统进行测定。包括净光合速率(P_n , CO₂ μmol·m⁻²·s⁻¹)、气孔导度(G_s , H₂O mol·m⁻²·s⁻¹)、胞间二氧化碳浓度(C_i , CO₂ μmol·mol⁻¹)、蒸腾速率(Tr , H₂O mmol·m⁻²·s⁻¹)、WUE (CO₂/H₂O μmol·mmol⁻¹)等参数。

收获前选择典型生长植株进行室内考种。收获时按小区单打单收并计产,折算成公顷产量。

播前和收获后采集土壤进行土壤养分测定(包括全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾、OM、pH 值)。具体测定方法:土壤全氮,半微量凯氏法测定;

全磷,碱熔-钼锑抗比色法测定;全钾,碱熔-火焰光度法测定;碱解氮,碱解扩散法测定;有效磷,碳酸氢钠提取-钼锑抗比色法测定;速效钾,乙酸铵浸提-火焰光度法测定;有机质,重铬酸钾硫酸氧化-外加热法测定;pH 值,电极法测定。

土地当量比(LE_R)^[7]:同一农田中两种或两种以上作物间混作时的收益与各个作物单作时的收益之比率,为衡量间混作比单作增产程度的一项指标。LE_R > 1 表示间作比单作效率高,LE_R < 1 表示间作比单作效率低^[8]。(LE_R - 1) × 100% 则是间混作的增产率。

土地当量比(LE_R) = (Y_{it}/Y_{mt}) + (Y_{is}/Y_{ms}) (1)
式中,t 代表马铃薯;s 代表蚕豆;Y_i 和 Y_m 分别为间作和单作模式下同一作物的产量。

纯收益 = 总收益 - 总投入 (2)

数据分析采用 Excel 和 SPSS 13.0, 多重比较用新复极差法 (Duncan 法)。

2 结果与分析

2.1 间作模式对马铃薯及蚕豆叶片光合生理参数的影响

在马铃薯、蚕豆开花期进行了植物叶片光合生理参数的测定 (表 2、表 3)。处理间比较, D 处理, 开花期陇薯 7 号马铃薯叶片光合速率、气孔导度、细胞间隙二氧化碳浓度、蒸腾速率高于其它处理, 叶片光合速率较 E 处理提高了 53.7%。处理 C 与处理 D 之间陇薯 7 号叶片光合速率、气孔导度、细胞间隙二氧化碳浓度、蒸腾速率、水分利用效率差异显著或极显著, 而与处理 B 之间陇薯 7 号叶片光合生理参数差异不显著。不同处理间蚕豆叶片光合生理参数没有显著差异。

表 2 开花期马铃薯叶片光合参数的变化

Table 2 Variation of photosynthetic physiological parameters in leaves of potato during flowering stage

处理 Treatments	P_n $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	G_s $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	C_i $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	T_r $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	WUE $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$
A	13.62bB	0.140bB	194.5bB	3.657cB	3.740aA
B	15.88bAB	0.189bB	209.5bAB	4.358bcB	3.722aA
C	16.58bAB	0.195bB	209.9bAB	4.779bcB	3.476abAB
D	21.60aA	0.474aA	262.7aA	8.866aA	2.435dC
E	15.02bB	0.171bB	197.1bB	5.331bB	2.830cdCD
F(CK1)	14.05bB	0.163bB	200.5bB	4.529bcB	3.145bcABC
G(CK2)	14.20bB	0.141bB	187.0bB	3.625cB	3.940aA

注: 不同大写字母表示在 0.01 水平差异显著, 不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different capital and small letters in the same columns mean significance of difference at $P \leq 0.01$ and $P \leq 0.05$ respectively. The same as below.

表 3 开花期蚕豆叶片光合参数的变化

Table 3 Variation of photosynthetic physiological parameters in leaves of broad bean during flowering stage

处理 Treatments	P_n $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	G_s $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	C_i $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	T_r $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	WUE $\mu\text{mol}\cdot\text{mmol}^{-1}$
A	13.52aA	0.140aA	181.9aA	4.036aAB	3.404abA
B	15.15aA	0.163aA	194.8aA	4.056aAB	3.803aA
C	14.91aA	0.183aA	212.9aA	4.874aAB	3.120abAB
D	13.13aA	0.150aA	204.5aA	4.211aAB	3.120abAB
E	12.09aA	0.114aA	177.9aA	3.594aB	3.370abA
H(CK3)	13.62aA	0.131aA	167.1aA	5.564aA	2.458bB

2.2 间作模式对马铃薯及蚕豆农艺性状的影响

通过对马铃薯以及蚕豆农艺性状的调查 (表 4), 结果表明相对于露地种植方式而言, 覆膜种植方式的商品薯率明显高于露地种植, 且双薯模式商品薯率亦高于单薯种植方式, 表明在高寒阴湿区选择覆膜方式种植马铃薯有利于提高产量构成要素。处理间比较, D 处理马铃薯单产、蚕豆单产以及小区作物总产量明显高于其余各处理, 表明高寒阴湿区全膜覆盖条件下双垄沟模式马铃薯和蚕豆间作模式对主栽作物和搭配作物均具有明显的增产效果。双豆模式间比较, 小区作物总产量、折合马铃薯单产、折合蚕豆单产是 $D > C > B > A > E$ 。与 CK1、CK2 相比, A、E 小区作物总产量、折合作物单产均较高。

统计分析表明, 尽管 D 处理的鲜薯产量与 CK1、CK2 差异不显著, 但 D 处理的蚕豆产量与 A、E 以及 CK3 处理间差异极显著。间作模式不同, 对两种作物农艺性状的影响亦不同。覆膜与不覆膜对马铃薯、蚕豆株高影响显著, 统计分析表明 B、C、D 处理与 A、E、F 处理间马铃薯、蚕豆株高差异极显著。D 处理与 C、E 处理间马铃薯株高差异极显著, 单株生产能力、小区产量、折合亩产量差异显著。其它各处理间马铃薯各农艺性状差异不显著。相对于 H 而言, 除 E 处理外, 其余各处理蚕豆的有效分枝数均与 H 处理间差异极显著, 且 D 处理蚕豆有效分枝数最大。A 与 B、C 与 D、D 与 E 处理间蚕豆的有效分枝数差异达显著或极显著水平。H 与其它各处理间蚕豆有效结荚数、豆粒数、单株生物量差异极显著, A 与 B 处理间蚕豆有效结荚数差异极显著, A、E 与 C 处理间蚕豆豆粒数差异显著。A 与 B、D 与 E 处理间单株生物量差异极显著。

2.3 不同间作模式作物经济效益分析

间作模式直接影响作物经济效益的高低 (表 5)。相对于传统单一种植方式而言, 薯豆间作模式的 LER 均大于 1, 全膜双薯双豆种植模式 LER 最高, 达 2.07, 间作增产率最高达 107.17%, 间作优势明显, 表明高寒阴湿区采用覆膜蚕豆间作种植马铃薯具有较高的土地利用效率。

间作模式不同, 单位面积作物经济效益差异明显。效益分析表明 (表 5), 单位面积马铃薯收益、蚕豆收益以及作物总收益处理比较, 覆膜处理高于露地处理, 全膜处理高于半膜处理, 双薯双豆高于单薯双豆。生产总投入主要包括人工、肥料、原料。对照产投比, 无论是全膜、半膜还是露地, 双薯双豆模式的投入产出比都较单作马铃薯处理高, 尽管全膜双垄沟双薯双豆种植模式的总投入最高, 但该间作模式的单位面积纯收益明显高于其他处理, 单位面积

纯收益高达 927.1 元,表明高寒阴湿区采用双薯双 豆间作模式具有显著的经济收益。

表 4 不同间作模式作物农艺性状

Table 4 Agronomic characters of crops under different intercropping modes

处理 Treatments	马铃薯 Potato			蚕豆 Broad bean				
	株高 Plant height /cm	商品薯重量率 Proportion of commodity tubers in weight/%	折合产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	株高 Plant height /cm	有效分枝 数(个) Available branches	有效结荚 数(个) Available pods	籽粒数 (粒) Grains per plant	折合产量 Yield /(kg·hm ⁻²)
A	80.7cC	66.96aA	24448.5abA	93.7cB	3.43cBC	18.40bB	40.37bA	5857.5cC
B	85.0bB	67.53aA	25807.5abA	95.3bcB	4.27abAB	21.97abAB	47.07abA	6600.0bB
C	87.3bB	71.09aA	20701.5bA	98.7bB	3.67bcABC	23.73aA	50.17aA	6930.0bB
D	91.7aA	72.95aA	35131.5aA	105.0aA	4.53aA	20.30abAB	45.60abA	7755.0aA
E	76.0dD	64.91aA	18232.5bA	—	3.07cCD	19.23bAB	39.97bA	5692.5cC
F(CK1)	75.0dD	77.64aA	31302.0abA	—	—	—	—	—
G(CK2)	73.3dD	67.95aA	28860.0abA	—	—	—	—	—
H(CK3)	—	—	—	—	2.37dD	10.43cC	22.97cB	5307.0cC

表 5 不同间作模式处理作物经济效益分析

Table 5 Analysis of productive benefit under different intercropping modes

处理 Treatments	收益/(Yuan·667m ⁻² 总投入/(Yuan·667m ⁻²)	产投比 O/I ratio	纯收益/(Yuan·667m ⁻²)	LER	间作增产率 Increase rate/%	
A	1050.8	390	2.69	660.8	1.66	66.22
B	1149.0	480	2.39	669.0	1.78	77.75
C	1298.1	480	2.7	818.1	1.85	84.68
D	1447.1	520	2.78	927.1	2.07	107.17
E	1134.4	390	2.91	744.4	1.67	66.91
F(CK1)	447.2	360	1.24	87.2	1.00	—
G(CK2)	403.6	360	1.12	43.6	1.00	—
H(CK3)	467.8	255	1.83	212.8	1.00	—

注:马铃薯鲜薯按市场 0.6 元·kg⁻¹,蚕豆 6 元·kg⁻¹,人工按 10 元·工⁻¹,肥料按当地市场价计算。

Note: According to the market, price of fresh potato was 0.6 yuan·kg⁻¹, broad bean was 6 yuan·kg⁻¹, the artificial was 10 yuan per worker, fertilizer calculation according to the local market price.

2.4 间作模式对土壤养分的影响

不同种植方式播前和收获后土壤养分化验结果表明(表 6),相对播前而言,处理 D 土壤全氮、全磷、碱解氮、有效磷下降幅度最小,土壤 pH 亦能维持在播前水平,而露地种植模式的土壤中全氮含量下降幅度较大,土壤 pH 升高幅度也较高。全膜与半膜相比,全膜双垄沟双薯双豆种植方式土壤全氮、全磷、碱解氮、有效磷下降幅度最小;覆膜双薯与单薯比较,半膜双薯双豆处理土壤全氮、全磷、碱解氮、有效磷下降幅度相对较小;露地种植方式各处理间土壤养分变化无一致性表现。间作与单作处理间比较,间作模式不同对土壤中养分的吸收不同,致使土壤 pH 值变化也不同。

3 小结与讨论

1) 种植方式对作物产量构成因素产生影响,因

而最终形成的经济效益亦不同。高寒阴湿区采用全膜双薯双豆种植方式有利于马铃薯陇薯 7 号植株叶片维持相对较高的光合同化能力,最终获得了较高的块茎产量。这和卢良恕、刘巽浩^[9-14]等认为间套作复合群体能通过增加光能利用而增产的结果基本一致。本试验中无论采用全膜覆盖还是半膜覆盖种植模式均明显影响薯豆间作模式下马铃薯叶片光合生理活性,其最终块茎产量商品薯率也明显高于传统露地种植方式,表明在高寒阴湿区采用全膜覆盖双垄沟模式下马铃薯和蚕豆间作模式对主栽作物和搭配作物均具有显著的增产、增效作用。

2) 当两种作物种植在一起时,竞争作用和促进作用是同时存在的。当竞争作用小于促进作用时,就会表现出间套作的优势;当竞争作用大于促进作用时,则表现为间套作劣势。促进作用是间套作优势的基础。研究认为豆科作物与非豆科作物间套作,

表 6 播前与收获后土壤养分含量的变化

Table 6 Contrast of soil nutrients before sowing and after harvesting

处理 Treatments	全氮 Total N /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total P /(g·kg ⁻¹)	全钾 Total K /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkaline hydrolysis N /(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available P /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available K /(mg·kg ⁻¹)	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	pH 值(水:土 = 2.5:1) pH (water: soil = 2.5:1)	
播前土壤 Before sowing	1.84	1.40	28.55	207	69.8	209	25.8	7.91	
A	1.57	1.30	26.01	88	32.73	140	23.4	8.22	
B	1.60	1.15	26.64	114	35.63	130	22.3	8.11	
C	1.68	1.22	27.27	157	36.19	119	23.3	7.86	
收获后 After harvesting	D	1.75	1.25	24.12	151	38.49	124	24.8	7.79
E	1.58	1.16	26.01	107	32.54	130	24.3	8.28	
F(CK1)	1.58	1.16	23.50	102	28.95	104	25.2	8.24	
G(CK2)	1.55	1.29	23.50	112	33.12	135	22.9	8.21	
H(CK3)	1.65	1.20	22.87	141	40.27	124	24.2	7.96	

系统的吸氮量提高,改善作物的营养状况^[15-16]。高寒阴湿区采用全膜双垄沟双薯双豆间作方式后,土壤全氮、全磷、碱解氮、有效磷下降幅度最小,一个生长季之后土壤 pH 值亦能维持在相对稳定的状态。而露地种植模式土壤中全氮含量下降幅度较大,土壤 pH 值升高幅度也较高,这可能与覆膜条件下薯豆间作模式由于马铃薯与蚕豆生育时期的差异导致对土壤中氮素利用时期存在差异,使得氮素得到高效的利用,这和宁堂原等^[17]的研究结果基本一致。处理间比较,由于间作模式的不同对土壤中养分的吸收不同,致使土壤 pH 值变化也不尽相同。这也进一步证明合理的选择品种、氮源供应和高效的间作模式可以减缓间作体系对资源的竞争。

3) 合理种植制度具备经济有效、增产、增收等特征。在较低的生产水平下,间混套作可增加产量的稳定性,减少农业投入,培肥地力;在较高的生产水平下,间混套作可充分利用资源,增加作物总产,减少病虫害的发生。中国不少学者认为,间混套作一般能够较单作增产 20% 左右。本试验结果进一步证明在高寒阴湿区采用双薯双豆间作模式具有显著的经济优势,既显著提高了土地复种指数,土地当量比高达 2.07,有效提高了作物产量和效益,间作增产率最高可达 107.17%,值得在此地区推广应用。

参考文献:

- [1] 李志贤,王建武,杨文亭,等.广东省甜玉米/大豆间作模式的效益分析[J].中国生态农业学报,2010,18(3):628-631.
- [2] 高阳,段爱旺,刘祖贵,等.单作和间作对玉米和大豆群体碳

- 射利用率及产量的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(1):7-12.
- [3] 胡应锋,王余明,王西瑶.马铃薯大豆间作模式效益分析[J].中国农学通报,2009,25(4):111-114.
- [4] 吕军峰,张国宏,郭天文,等.西北半干旱区大豆不同间作模式效益分析[J].大豆科学,2011,(2):234-237.
- [5] 孙建好,李隆,李娟.小麦/大豆间作氮磷肥效的双变量分析[J].干旱地区农业研究,2007,25(4):183-186.
- [6] De Wit C T, Vanden Bergh P T. Competition between herbage plants [J]. Netherlands Journal of Agricultural Science. 1965, 13:212-221.
- [7] Willey R. Intercropping—its importance and research needs. I. Competition and yield advantages[J]. Field Crop Abstract, 1979, 32: 1-10.
- [8] 刘天学,张绍芬,赵霞,等.我国玉米主要间作技术研究进展[J].河南农业科学,2008,(5):14-17.
- [9] 卢良恕.中国立体农业模式[M].郑州:河南科学技术出版社,1993:32-33.
- [10] 刘巽浩,牟正国.中国耕作制度[M].北京:中国农业出版社,1993:151-159.
- [11] 黄高宝.集约栽培条件下间套作的光能利用理论发展及其应用[J].作物学报,1999,25(1):16-24.
- [12] 李凤超,李增嘉.种植制度的理论与实践[M].北京:中国农业出版社,1995:139-192.
- [13] Francis C A. Multiple cropping system[M]. New York: Macmillan Publishing Company, 1986:376-383.
- [14] Vandemeer J H. The Ecology of Intercropping[M]. New York: Cambridge University Press, 1989:356-362.
- [15] 宁堂原,焦念元,安艳艳,等.间套作资源集约利用及对产量品质影响研究进展[J].中国农学通报,2007,23(4):159-164.
- [16] 李隆.间作作物种间促进与竞争作用研究[D].北京:中国农业大学,1999:104-108.
- [17] 宁堂原,焦念元,李增嘉,等.施氮水平对不同种植制度下玉米氮素吸收利用和产量品质的影响[J].应用生态学报,2006,(12):2332-2336.