

# 兰州地区玉米/大豆间作模式效益分析

南琴霞<sup>1</sup>, 陈光荣<sup>2</sup>, 樊廷录<sup>2</sup>, 王立明<sup>2</sup>, 杨如萍<sup>2</sup>, 董博<sup>2</sup>, 张国宏<sup>2</sup>, 杨桂芳<sup>3</sup>, 温健<sup>4</sup>, 牛建彪<sup>5</sup>

(1. 甘肃省皋兰县农牧局, 甘肃 皋兰 730020; 2. 甘肃省农业科学院旱地农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃环科雅农业科技有限公司, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃省永登县农业技术推广中心, 甘肃 永登 730030; 5. 甘肃省榆中县农业技术推广中心, 甘肃 榆中 730010)

**摘要:** 2016年在兰州地区不同海拔条件下以玉米/大豆带状复合种植模式为研究对象, 对其土地当量比、水分利用效益、肥料利用效益等指标进行评价, 结果表明, 与单作比较, 玉米/大豆复合种植显著提高土地复种指数, 具有良好的产出效果, 单位面积产量较单作提高了1.59倍; 水分利用效益为3.20元/m<sup>3</sup>, 较单作玉米和单作大豆分别增加了59.20%和171.19%; N利用效益为71.55元/kg, 较单作玉米和单作大豆分别增加了27.02%和73.18%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>利用效益为107.32元/kg, 分别增加了24.07%和94.83%; K<sub>2</sub>O利用效益为134.15元/kg, 分别增加了19.08%和62.36%。玉米/大豆复合种植实现了土地、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, 同时能适应机械化作业, 显著提高生产效率, 适宜在该区域大面积示范推广。

**关键词:** 玉米/大豆复合种植; LER; 水分利用效益; 肥料利用效益

**中图分类号:** S513; S565.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2017)07-0031-06

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-1463.2017.07.009

## Benefit Analysis of Corn Intercropping Soybean Model in Lanzhou Areas

NAN Qinxia<sup>1</sup>, CHEN Guangrong<sup>2</sup>, FAN TinLu<sup>2</sup>, WANG Liming<sup>2</sup>, YANG Ruping<sup>2</sup>, DONG Bo<sup>2</sup>, ZHANG Guohong<sup>2</sup>, YANG Guifang<sup>3</sup>, WEN Jian<sup>4</sup>, NIU Jianbiao<sup>5</sup>

(1. Gaolan Farming and Animal Husbandry Bureau, Gaolan Gansu 730020, China; 2. Institute of Dryland Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China; 3. Gansu Central Keya Green Agriculture Technology Ltd, Lanzhou Gansu 730070, China; 4. Yongdeng Agricultural Technology Extension Center, Yongdeng Gansu 730030, China; 5. Yuzhong Agricultural Technology Extension Center, Yuzhong Gansu 730010, China)

**Abstract:** In order to quantitatively evaluate the benefits of yield, water and fertilizer, corn cultivar of Jinsui 3 and soybean cultivar of Zhonghuang 30 are used as materials, corn-soybean intercropping system is carried 2016 in different altitudes in Lanzhou city. The result indicates that land use efficiency of corn-soybean intercropping system raised by 59%, compared with monoculture. the benefit of water is 3.20 yuan/m<sup>3</sup>, which increased by 59.20% and 171.19%, respectively, compared with corn and soybean monoculture; the benefit of N is 71.55 yuan/kg, which increased by 27.02% and 73.18%, respectively; the benefit of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> is 107.32 yuan/kg, which increased by 24.07% and 94.83%, respectively; the benefit of K<sub>2</sub>O is 134.15 yuan/kg, which increased by 19.08% and 62.36%, respectively. Corn/soybean intercropping is an effective cultivation method with great ecological and economic benefits. In addition to Labor, soil, heat and water resource intensively utilizing temporally and spatially, this intercropping system could increase the crop yield per unit area greatly, which could be extended at large scale.

**Key words:** Corn intercropping soybean; LER; Water use efficiency; Fertilizer use efficiency

城镇化、工业化和生态环境修复的快速推进致使我国耕地面积不断下降, 要基本满足粮棉油糖和精饲料需求只有提高土地产出率。间作套种

是世界公认的提高土地产出的中华传统农业技术瑰宝<sup>[1-4]</sup>。我国粮食主产区长期连作高产高效作物, 致使土壤肥力严重下降, 而固氮作物大豆与

收稿日期: 2017-05-31

基金项目: 兰州市农业科技专项(2015-3-37); 甘肃省农业科学院中青年基金(2015GAAS20); 国家现代农业产业体系建设专项(CARS-04-CES17)部分内容。

作者简介: 南琴霞(1975—), 女, 甘肃皋兰人, 主要从事农业高效栽培技术示范与推广。E-mail: nanqinxia@163.com。

通信作者: 陈光荣(1980—), 男, 甘肃皋兰人, 博士, 主要从事研究作物高产高效栽培理论与技术。E-mail: chengr516@163.com。

玉米带状间套分带轮作能从生态层面培肥土壤、控制病虫害和抵御自然灾害,既实现当季高产高效,又能培肥地力,达到耕地的永续利用<sup>[5-6]</sup>。肉、蛋、奶及大豆食品对增强国民体质具有不可替代的重要作用,玉米、大豆是世界公认的精饲料之王<sup>[7]</sup>。

玉米是兰州市主要的粮食作物,种植面积占粮食作物的40%以上<sup>[8]</sup>,但大豆播种面积和总产量较小,远远低于该区域对大豆的需求量<sup>[9]</sup>。玉米/大豆带状复合种植技术充分利用了两种作物在光热水肥上的空间生态位和时间生态位上的差异,实现了玉米、大豆在资源上的时空互补利用,既能促进主要粮食作物玉米的高产,又增种一季大豆,提高了资源利用率和土地生产率,增加了农民收入,是现代农业发展的必然要求。近年来,玉米/大豆高产高效栽培模式在兰州地区逐渐被应用,然而该区域生产条件下尚缺乏有关玉米/大豆模式效益方面的研究。为此,我们应用土地当量比、产量当量等不同量化指标对该种植模式的产出效果进行了分析,并通过测定复合群体耗水量、肥料施用量等指标研究了玉米/大豆间作模式的水分利用效益和养分利用效益,以期为该区域作物高产高效生产提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验于2016年分别在甘肃省兰州市皋兰县城关镇明星村(简称皋兰)、榆中县城关镇李家庄(简称榆中)和永登县柳树镇柳树村(简称永登)进行,试验区基本情况见表1。

### 1.2 试验设计

采用随机区组设计,共3个处理,即玉米间作大豆(M/S)、单作大豆(S)、单作玉米(M),3次重复,小区面积为66 m<sup>2</sup>。玉米带与大豆带间套种植,幅宽2.2 m,玉米带2行(行间距40 cm),玉米带间种大豆(2行,行间距40 cm),玉米带与大豆带间距为70 cm。4月20日玉米、大豆同时播种,

玉米、大豆穴距分别为15 cm和13 cm,玉米穴留1株,密度为6万株/hm<sup>2</sup>,大豆穴留2株,密度为13.5万株/hm<sup>2</sup>。不施用农家肥,玉米间作大豆施肥量为N 225 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 150 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 120 kg/hm<sup>2</sup>;玉米单作施肥量为N 180 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 120 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 90 kg/hm<sup>2</sup>;大豆单作施肥量为N 120 kg/hm<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 90 kg/hm<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O 60 kg/hm<sup>2</sup>。其中N的40%、K<sub>2</sub>O的70%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的100%作为基肥,N的60%、K<sub>2</sub>O的30%作为花期追肥。肥水及大田管理同当地生产。

### 1.3 间作效果定量评价的指标及其计算公式

土地当量比(LER)是指获取与某种种植方式单位面积同等产量,同类农田相同作物单作所需的土地总面积。

土地当量比(LER)的计算公式为:

$$LER = Y_i / Y_i' = \sum_{i=1}^n Y_1 / Y_1' + Y_2 / Y_2' + \dots + Y_n / Y_n' \quad (1)$$

式中, $Y_i$ 为单位面积内复种农田各作物的产量或产值; $Y_i'$ 为单位面积内与复种相应的各作物一熟时的产量或产值; $n$ 为间套作农田种植或收获的次数; $i$ 为间套种的各种作物。

间作当量(IE)是指间作农田单位面积产量或产值与相同地块间作各作物单作产量或产值加权平均数的比值。间作当量的计算公式:

$$IE = \sum_{i=1}^n Y_i / \sum_{i=1}^n (Y_i' \times K_i) = (Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n) / (Y_1' \times K_1 + Y_2' \times K_2 + \dots + Y_n' \times K_n) \quad (2)$$

式中, $Y_i$ 为单位面积内间作群体各作物产量或产值; $Y_i'$ 为单位面积内间作的各作物单作时产量或产值; $K_i$ 为间作的各作物的占地系数; $n$ 为间作作物的种类或数量; $i$ 为间作群体中的各作物。间作当量可分为产量间作当量和产值间作当量。若以作物产量为比较参数,则为产量间作当量;若以作物产值为比较参数,则为产值间作当量。

### 1.4 调查测定项目

1.4.1 玉米调查测定项目 记载生育时期、生长特性,成熟时每小区取10株进行考种,测定株

表1 试验地概况

试验点	经度	纬度	海拔/m	年均温度/°C	年均降水量/mm	年蒸发量/mm	无霜期/d	土壤类型	有机质/(g/kg)	碱解氮/(mg/kg)	速效磷/(mg/kg)	速效钾/(mg/kg)
皋兰	104.35	35.23	1 754	7.1	263	1750	144	粉质壤土	23.5	67.4	8.7	164.3
榆中	104.12	35.85	1 879	6.5	427	1550	137	灰钙土	17.9	53.4	11.5	135.7
永登	103.27	36.73	2 032	5.9	304	1447	126	灌淤土	21.5	62.8	13.8	149.2

高、穗位、有效穗数、双穗率，室内测定穗长、秃顶长度、千粒重等，并计算各小区产量。

1.4.2 大豆调查测定项目 记载各品种生育时期、生长特性，成熟时每小区取 20 株进行考种，测定株高、有效株数，室内测定低荚高度、主茎节数、分枝数、有效荚数、无效荚数、单株粒数、百粒重等，并计算各小区产量。

1.4.3 计算公式 经济效益 = 总收入 - 总成本，水分利用效益 = 经济效益 / 全生育期耗水量；肥料利用效益 = 经济效益 / 全生育期用肥量。其中总收入为收获的经济产量乘以当地平均价格，总成本包括种子、农药、化肥、灌溉、机械作业费及劳务费等，全生育期耗水量概算为全生育期的降水量与灌溉水之和。

## 1.5 数据分析

用 Microsoft Excel 和 DPS 统计软件进行试验数据汇总与统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 产出效果分析

由表 2 可知，在同一海拔条件下，不同种植模式之间产量差异显著。玉米单作(M)、大豆单作(S)和玉米/大豆间作(M/S)体系在 3 个试点平均产量分别为 13 049.38 kg/hm<sup>2</sup>、2 488.52 kg/hm<sup>2</sup> 和 13 449.17 kg/hm<sup>2</sup>，M/S 系统产量与单作 M 和 S 相比，分别提高了 3.06% 和 440.45%。不同种植模式在不同海拔条件下系统的产量变化不明显，单作玉米在皋兰、榆中和永登的产量分别为 13 974.71 kg/hm<sup>2</sup>、13 088.47 kg/hm<sup>2</sup> 和 12 084.96 kg/hm<sup>2</sup>，说明随海拔高度的增加玉米产量呈现下降趋势，下

降幅度为 6.34% ~ 13.52%。单作大豆在皋兰、榆中和永登的产量分别为 2 577.33 kg/hm<sup>2</sup>、2 469.84 kg/hm<sup>2</sup> 和 2 418.40 kg/hm<sup>2</sup>，产量的变化趋势与单作玉米一致，但降幅不大，仅为 4.17% ~ 6.17%。玉米/大豆间作系统在皋兰、榆中和永登 3 个点的产量分别为 14 297.17 kg/hm<sup>2</sup>、13 574.51 kg/hm<sup>2</sup> 和 12 475.84 kg/hm<sup>2</sup>，也随海拔高度的增加产量下降，降幅为 5.06% ~ 12.74%。从土地当量比(LE<sub>R</sub>)角度分析，在不同海拔条件下，与单作玉米或大豆相比，尽管间作玉米和间作大豆产量均降低，降幅分别为 9.01% ~ 10.61% 和 30.03% ~ 32.63%，但玉米/大豆间作模式 LE<sub>R</sub> 均大于 1，表明该模式可提高土地复种指数和土地利用效率，具有良好的产出效果。

### 2.2 海拔对玉米农艺性状及产量构成因素的影响

由表 3 可知，随着海拔高度的增加，玉米生育期逐渐延长，2016 年单作和间作玉米在不同生态区均能正常成熟。玉米株高、穗位、穗粒数、千粒重、穗长等指标均随海拔增高而呈现降低的趋势(表 3)，其中株高和穗位高度变化不明显。单作和间作玉米穗粒数变化幅度分别为 5.17% ~ 9.21% 和 10.8% ~ 14.46%，千粒重变化幅度分别为 1.09% ~ 5.99% 和 5.01% ~ 6.28%，穗长变化幅度分别为 3.37% ~ 6.25% 和 2.05% ~ 3.07%。玉米秃顶长度随海拔高度的增加而增加，增加幅度分别为 41.67% ~ 54.54% 和 6.89% ~ 40.90%。另外，相对于单作玉米，间作玉米的穗粒数、千粒重分别下降了 10.87% 和 5.36%，说明影响间作玉米产量下降的原因是穗粒数和千粒重的下降。

表 2 不同试验点玉米/大豆间作系统作物产量与土地当量比

试验点	处理	产量/(kg/hm <sup>2</sup> )			土地当量比		
		玉米	大豆	玉米+大豆	玉米	大豆	玉米+大豆
皋兰	M	13 974.71		13 974.71 b	1		1
	S		2 577.33	2 577.33 c		1	1
	M/S	12 493.83	1 803.34	14 297.17 a	0.92	0.70	1.62
榆中	M	13 088.47		13 088.47 b	1		1
	S		2 469.84	2 469.84 c		1	1
	M/S	11 909.72	1 664.79	13 574.51 a	0.89	0.67	1.56
永登	M	12 084.96		12 084.96 b	1		1
	S		2 418.40	2 418.40 c		1	1
	M/S	10 846.57	1 629.27	12 475.84 a	0.90	0.69	1.59

### 2.3 海拔高度对单作和间作大豆农艺性状及产量构成因素的影响

从表 4 可以看出, 随海拔的升高, 单作和间作大豆生育期逐渐延长, 变化幅度分别为 3.52% ~ 6.51% 和 1.35% ~ 4.70%。单作和间作大豆株高、底荚高度、分枝数、有效荚数、荚粒数、百粒重均随海拔增高而呈现降低的趋势, 其中株高变化幅度分别为 4.34% ~ 7.24% 和 2.81% ~ 8.22%, 底荚高度变化幅度分别为 12.00% ~ 16.13% 和 2.81% ~ 8.43%, 有效荚数变化幅度分别为 7.67% ~ 14.79%

和 4.27% ~ 5.57%, 百粒重变化幅度分别为 0.78% ~ 5.78% 和 4.37% ~ 6.31%。与单作相比, 有效荚数和百粒重显著下降, 分别下降了 32.97% 和 9.68%, 说明影响间作大豆产量下降的主要因子是有效荚数, 其次是百粒重。

### 2.4 不同种植模式的经济效益分析

根据试验数据和测产结果, 以及各种农产品及农用生产资料的市价调查结果和机耕劳力折价的情况, 计算所得产值、投入及纯收入见表 5。随海拔高度升高, 各种植系统产值和利润在降低,

表 3 不同海拔的玉米农艺性状及产量构成

处理	试验点	株高 /cm	穗位 /cm	生育期 /d	穗数 /(穗/hm <sup>2</sup> )	穗粒数 /个	千粒重 /g	双穗率 /%	穗长 /cm	秃顶 /cm
M	皋兰	254	139	151	58 905	619	382.2	1.1	23.5	1.1
	榆中	251	136	154	58 770	587	378.0	1.2	22.7	1.2
	永登	245	136	161	59 415	562	359.3	1.1	22.2	1.7
M/S	皋兰	252	138	152	59 115	574	367.6	1.9	19.5	2.2
	榆中	249	137	158	58 935	512	349.2	1.7	19.1	2.9
	永登	242	137	163	59 550	491	344.5	1.6	18.9	3.1

表 4 不同海拔的大豆农艺性状及产量构成

处理	试验点	株高 /cm	底荚高 /cm	生育期 /d	株数 /(株/hm <sup>2</sup> )	分枝数 /个	有效荚 /个	荚粒数 /粒	单株粒数 /粒	百粒重 /g
S	皋兰	69	17.5	138	133 395	3.2	36.5	2.5	91.3	22.3
	榆中	66	15.4	142	134 835	2.7	33.7	2.4	80.9	22.5
	永登	64	14.7	147	133 800	2.5	31.1	2.4	74.6	21.2
M/S	皋兰	73	17.8	141	130 890	1.4	22.4	2.3	53.7	20.6
	榆中	71	16.3	146	132 210	1.2	23.4	2.4	56.1	19.7
	永登	67	17.3	148	131 910	1.3	22.1	2.3	50.8	19.3

表 5 不同种植模式的经济效益<sup>①</sup>

试验点	处理	投入								利润
		产值	种子	化肥	投入农药	灌溉	机械作业	劳务	合计	
皋兰	M	22 359.54	900.00	1 710.00	120.00	1 350.00	1 800.00	4 860.00	10 740.00	11 619.54
	S	12 886.65	600.00	1 260.00	75.00	1 125.00	1 200.00	3 225.00	7 485.00	5 401.65
	M/S	29 006.83	1 200.00	1 875.00	112.50	1 350.00	1 800.00	4 860.00	11 197.50	17 809.33
榆中	M	20 941.55	900.00	1 710.00	120.00	1 350.00	1 800.00	4 860.00	10 740.00	10 201.55
	S	12 349.20	600.00	1 260.00	75.00	1 125.00	1 200.00	3 225.00	7 485.00	4 864.20
	M/S	27 379.50	1 200.00	1 875.00	112.50	1 350.00	1 800.00	4 860.00	11 197.50	16 182.00
永登	M	19 335.94	900.00	1 710.00	120.00	1 350.00	1 800.00	4 860.00	10 740.00	8 595.94
	S	12 092.00	600.00	1 260.00	75.00	1 125.00	1 200.00	3 225.00	7 485.00	4 607.00
	M/S	25 500.86	1 200.00	1 875.00	112.50	1 350.00	1 800.00	4 860.00	11 197.50	14 303.36

①2016 年玉米收购价为 1.6 元 /kg, 大豆收购价为 5 元 /kg。



海拔 1 754 m 时单作玉米、单作大豆及玉米 / 大豆间作系统产值分别为 22 359.54 元 /hm<sup>2</sup>、12 886.65 元 /hm<sup>2</sup> 和 29 006.83 元 /hm<sup>2</sup>，利润分别为 11 619.54 元 /hm<sup>2</sup>、5 401.65 元 /hm<sup>2</sup> 和 17 809.33 元 /hm<sup>2</sup>；海拔 1 879 m 时单作玉米、单作大豆及玉米 / 大豆间作系统产值比 1 754 m 降低了 6.34%、4.17% 和 5.61%，利润分别降低了 13.52%、6.17% 和 12.09%；海拔 2 032 m 时系统产值比 1 754 m 降低了 12.2%、9.95% 和 9.14%，利润分别降低了 26.02%、14.71% 和 19.69%。在同一海拔条件下，单作玉米、单作大豆和玉米 / 大豆间作系统产值和利润差异不明显，玉米 / 大豆间作模式平均产值为 27 295.73 元 /hm<sup>2</sup>，较单作玉米和单作大豆产值分别增加了 30.73% 和 119.37%；玉米 / 大豆间作模式总成本为 11 197.5 元 /hm<sup>2</sup>，较单作玉米和单作大豆分别增加了 4.00% 和 49.54%；玉米 / 大豆间作模式纯收益 16 098.23 元 /hm<sup>2</sup>，较单作玉米和单作大豆分别增加了 58.78% 和 224.72%。

### 2.5 不同种植模式的水分利用效益分析

由表 6 可知，玉米 / 大豆间作模式在不同海拔高度水分利用效益为 3.20 元 / m<sup>3</sup>，较单作玉米

(2.01 元 / m<sup>3</sup>) 和单作大豆 (1.18 元 / m<sup>3</sup>) 分别增加了 59.20% 和 171.19%，水分利用效益均明显增加。

### 2.6 不同种植模式下的肥料利用效益分析

由表 7 可知，玉米 / 大豆间作模式在不同海拔高度的 N 平均利用效益为 71.55 元 / kg，较单作玉米 (56.33 元 / kg) 和单作大豆 (41.31 元 / kg) 分别增加了 27.02% 和 73.18%；P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 利用效益为 107.32 元 / kg，较单作玉米 (84.49 元 / kg) 和单作大豆 (55.08 元 / kg) 分别增加了 24.07% 和 94.83%；K<sub>2</sub>O 利用效益为 134.15 元 / kg，较单作玉米 (112.66 元 / kg) 和单作大豆 (82.63 元 / kg) 分别增加了 19.08% 和 62.36%。由此可见，玉米间作大豆高效栽培模式肥料利用效益明显增高。

### 3 小结与讨论

研究结果表明，与单作比较，玉米 / 大豆复种种植显著提高土地复种指数，提高了土地利用效率，具有良好的产出效果，其单位面积产量较单作提高了 1.59 倍。不同海拔的玉米 / 大豆间作模式平均水分利用效益为 3.20 元 / m<sup>3</sup>，较单作玉米和单作大豆分别增加了 59.20% 和 171.19%；玉米 / 大豆间作模式 N 利用效益为 71.55 元 / kg，较单作玉

表 6 不同种植模式的水分利用效益

处理	皋兰				榆中				永登			
	全生育期 降水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	全生育期 灌水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	生育期 耗水总量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	水分利 用效益 (元 / m <sup>3</sup> )	全生育期 降水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	全生育期 灌水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	生育期 耗水总量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	水分利 用效益 (元 / m <sup>3</sup> )	全生育期 降水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	全生育期 灌水量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	生育期 耗水总量 (m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )	水分利 用效益 (元 / m <sup>3</sup> )
M	1 974.8	2 610.0	4 584.8	2.53	3 203.7	2 755.5	5 959.2	1.71	2 311.8	2 463.0	4 774.8	1.80
S	1 974.8	1 774.5	3 749.3	1.44	3 203.7	1 638.0	4 841.7	1.00	2 311.8	1 906.5	4 218.3	1.09
M/S	1 974.8	2 610.0	4 584.8	3.88	3 203.7	2 755.5	5 959.2	2.72	2 311.8	2 463.0	4 774.8	3.00

表 7 不同种植模式 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的利用效益

试验点	处理	经济效益 (元 / hm <sup>2</sup> )	N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O	
			施肥量 (kg/hm <sup>2</sup> )	利用效益 (元 / kg)	施肥量 (kg/hm <sup>2</sup> )	利用效益 (元 / kg)	施肥量 (kg/hm <sup>2</sup> )	利用效益 (元 / kg)
皋兰	M	11 619.54	180.00	64.55	120.00	96.83	90.00	129.11
	S	5 401.65	120.00	45.01	90.00	60.02	60.00	90.03
	M/S	17 809.33	225.00	79.15	150.00	118.73	120.00	148.41
榆中	M	10 201.55	180.00	56.68	120.00	85.01	90.00	113.35
	S	4 864.20	120.00	40.54	90.00	54.05	60.00	81.07
	M/S	16 182.00	225.00	71.92	150.00	107.88	120.00	134.85
永登	M	8 595.94	180.00	47.76	120.00	71.63	90.00	95.51
	S	4 607.00	120.00	38.39	90.00	51.19	60.00	76.78
	M/S	14 303.36	225.00	63.57	150.00	95.36	120.00	119.19

米和单作大豆分别增加了 27.02% 和 73.18%;  $P_2O_5$  利用效益为 107.32 元/kg, 分别增加了 24.07% 和 94.83%;  $K_2O$  利用效益为 134.15 元/kg, 分别增加了 19.08% 和 62.36%。可见, 玉米/大豆复合种植实现了土地、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, 同时能适应机械化作业, 显著提高生产效率, 适宜在该区域大面积推广。

间套作种植能够有效提高粮食产量和资源利用率, 降低农业系统逆境风险和市场风险, 增加水土保持能力、提高土壤肥力, 抑制病虫害发生、减少农药使用, 起到生态防治的作用, 是生态农业与可持续农业发展的主要方向之一<sup>[10-11]</sup>。本试验结果表明, 玉米间作大豆提高了土地复种指数, 提高土地利用率, 具有良好的产出效果, 其单位面积产量较单作提高了 1.59 倍。说明该模式既能促进该区主要粮食作物玉米高产, 又增种一季大豆, 提高了资源利用效率和土地生产率, 增加了农民收入, 从而实现了资源的可持续利用和农业的可持续发展。

以往研究表明, 间套作体系高产量的主要原因是组成作物对于自然资源需求的不同以及间套作会比分别单作能更好促进作物的养分吸收。Li<sup>[12]</sup>发现, 玉/豆间套作相对于玉米单作而言对氮、磷、钾养分的吸收分别增加了 65.63%、42.57% 和 30.44%; 黄益宗等<sup>[13]</sup>的报道表明, 玉米与大豆间套作条件下, 玉米的氮素吸收量往往比其在单作条件下提高很多, 其提升率可达 60%~65%, 表现出了明显的养分吸收优势。Coll 等<sup>[14]</sup>和 Liu 等<sup>[15]</sup>发现, 间套作能保存水分的主要原因是复合群体较大的叶面积加之土壤中多样化根系减少了水分的流失, 增强了水分吸收、转运从而创造比周围环境湿润的小气候<sup>[16-17]</sup>。本研究结果表明, 在兰州市不同海拔条件下, 较单作玉米或大豆, 玉米/大豆带状复合种植模式水分利用效益和 N、 $P_2O_5$  和  $K_2O$  养分利用效益显著增加。

#### 参考文献:

- [1] PENG X B, ZHANG Y Y, CAI J, *et al.* Photosynthesis, growth and yield of soybean and maize in a tree-based agroforestry intercropping system on the Loess Plateau[J]. *Agroforestry Systems*, 2009, 76: 569-577.
- [2] 陈光荣, 王立明, 杨如萍, 等. 平衡施肥对马铃薯~大豆套作系统中作物产量的影响[J]. *作物学报*, 2017, 43(4): 596-607.
- [3] 李 隆. 间套作强化农田生态系统服务功能的研究进展与应用展望[J]. *中国生态农业学报*, 2016, 24(4): 404-415.
- [4] 肖炎波, 李 隆, 张福锁. 豆科/禾本科间作系统中氮营养研究进展[J]. *中国农业科技导报*, 2003, 5(6): 44-49.
- [5] 雍大文, 刘小明, 刘文钰, 等. 减量施氮对玉米~大豆套作系统下作物氮素吸收和利用效率的影响[J]. *生态学报*, 2015, 35(13): 4473-4482.
- [6] LIU X J, ZHANG Y, HAN W X, *et al.* Enhanced nitrogen deposition over China[J]. *Nature*, 2013, 494: 459-462.
- [7] MAO L L, ZHANG L Z, LI W Q, *et al.* Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop[J]. *Field Crops Research*, 2012, 138: 11-20.
- [8] 孙振荣. 兰州市不同海拔区玉米氮肥后移的效果[J]. *甘肃农业科技*, 2015(12): 43-45.
- [9] 陈光荣, 张国宏, 王立明, 等. 西北沿黄灌区不同作物间套作大豆产出效果分析[J]. *大豆科学*, 2013(5): 614-619.
- [10] 陈光荣, 杨文钰, 张国宏, 等. 薯/豆套作模式下不同熟期大豆品种生长补偿效应[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(3): 455-467.
- [11] 陈光荣, 王立明, 杨如萍. 甘肃不同生态区豆科与非豆科间套作高效栽培技术及其应用前景[J]. *中国农业科技导报*, 2017, 19(3): 63-71.
- [12] LI H, SHEN J, ZHANG F, *et al.* Phosphorus uptake and rhizosphere properties of intercropped and monocropped maize, faba bean, and white lupin in acidic soil[J]. *Bio. Fer. Soi.* 2010, 46(2): 79-91.
- [13] 黄益宗, 朱永官, 胡 莹, 等. 玉米和羽扇豆、鹰嘴豆间作对作物吸收积累 Pb、Cd 的影响[J]. *生态学报*, 2006(5): 1478-1485.
- [14] COLL L, CERRUDO A, RIZZALLI R, *et al.* Capture and use of water and radiation in summer intercrops in the south-east Pampas of Argentina[J]. *Fi. Cro. R.*, 2012(134): 105-113.
- [15] LIU C W, WANG Q, LIU Q L, *et al.* Effects of stubble-standing mode on the grain yield and water use efficiency of wheat and maize in wheat/maize intercropping system[J]. *J. Ap. Eco.* 2013, 24(2): 438-444.
- [16] 任佐录, 曾建兵, 李小宇. 临夏川塬灌区冬油菜玉米大豆间作套种栽培技术[J]. *甘肃农业科技*, 2013(2): 63-64.
- [17] 王 婷, 包兴国, 胡志桥. 河西绿洲灌区玉米间作绿肥高效种植模式研究[J]. *甘肃农业科技*, 2010(8): 3-7.