

玉米/大豆带状复合种植模式下减量施氮对系统产量的影响

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

(1. 甘肃省榆中县农业技术推广中心, 甘肃 榆中 730010; 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. 甘肃省皋兰县农牧局, 甘肃 皋兰 730020)

摘要: 2016年在兰州地区不同海拔条件下, 研究了玉米/大豆种植模式(玉米单作、大豆单作和玉米/大豆间作)和氮肥水平(不施氮、传统施氮和减量施氮)对作物产量的影响。结果表明, 不同种植模式下的传统施氮(CN)和减量施氮(RN)间产量差异不显著。在皋兰、榆中、永登3个试验点, 单作玉米在传统施氮(CN)条件下产量较高, 分别为13 478.49、12 974.21、11 073.12 kg/hm²; 而间作玉米在减量施氮(RN)条件下产量较高, 分别是12 387.02、11 994.41、10 879.27 kg/hm²; 单作大豆和间作大豆均在减量施氮(RN)条件下产量最高; 玉米/大豆间作系统的总产量均以减量施氮(RN)条件下最高, 分别是14 024.07、13 533.68、12 306.86 kg/hm²。可见, 减量施氮下的玉米/大豆复合种植模式的系统产量并未降低, 而氮肥利用效率显著提高, 适宜在该区域大面积推广。

关键词: 玉米/大豆间作; 减量施氮; 产量; 海拔

中图分类号: S513; S565.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2017)07-0037-06
[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2017.07.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2017.07.010)

Effect of Reduced N Application on Yield in Corn/Soybean Intercropping System in Strip Planting Model

NIU Jianbiao¹, CHEN Guangrong², FAN TinLu², WANG Liming², YANG Ruping², DONG Bo², ZHANG Guohong², YANG Guifang³, WEN Jian⁴, NAN Qinxia⁵

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

Abstract: Corn/soybean intercropping pattern is widely adopted in different altitudes in Lanzhou city. Whereas the traditional fertilized measures used by farmers are not good for high yield of corn/soybean intercropping system. In order to get high yield for both corn and soybean in this system, a field experiment is conducted to investigate the effect of the system crop yield in 2016. The experiment includes three planting patterns (corn mono cropping, soybean mono cropping and corn/soybean intercropping) and three rates of N fertilizer application, CK, the conventional N application (CN) and the reduced amount of N application (RN). The result indicates that there is no significant difference between CN and RN of yield for different cropping system, for the corn mono cropping, the yields of CN are highest, which are 13 478.49 kg/hm², 12 974.21 kg/hm² and 11 073.12 kg/hm², respectively. For the intercropping corn the yields of RN are highest, which are 12 387.02 kg/hm², 11 994.41 kg/hm² and 10 879.27 kg/hm², respectively. For the mono soybean or intercropping soybean, the yields of CN are highest, and the yields of corn/soybean intercropping are highest either, which are 14 024.07 kg/hm², 13 533.68 kg/hm² and 12 306.86 kg/hm². Therefore, reduced amount of N application for this intercropping system could increase the crop yield per unit area greatly, which could be extended at large scale.

Key words: Corn/soybean; Reduced amount of N application; Yield; Altitudes

中国是世界上最大的氮肥生产和消费国, 对全球氮肥产量和用量增长的贡献分别达 61% 和

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), 国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-CES17)。

作者简介: 牛建彪(1960—), 男, 甘肃榆中人, 研究员, 从事土壤保护、肥料使用和作物增产技术推广工作。E-mail: niujianbiao@163.com。

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

52%。中国以全球 10%的土地资源、21%的灌溉面积养活 20%的人口，并不断提高生活水平的关键在于氮肥、地膜、间套作等配套技术的有效实施^[1-3]。但目前中国氮肥消费量超过作物最高产量需求量，农业系统中的氮肥盈余对环境的影响逐步显现。据第一次全国污染源普查公告，水体污染物中总氮的 57%来自于农业，农田土壤 pH 下降 0.5 个单位，其中 60%以上的贡献来自于氮肥；全国大气氮沉降增长了 60%，也与氮肥有关^[4-6]。因此，尽快转变发展观念，充分利用各种氮素来源，实现氮肥投入与作物需求匹配，在发挥氮肥增产作用的同时努力减少环境污染是当务之急。

近年来，玉米/大豆高产高效栽培模式在兰州地区大面积被应用，该模式在提高粮食产量和维持氮素平衡中起重要作用。然而，在生产实践中，过量的施用氮肥并没有提高该模式系统产量，反而导致间作的大豆产量下降。为此，我们依据当地土壤室内分析及前期养分试验结果，在了解土壤养分状况的基础上，针对玉米/大豆间作系统中作物养分吸收互补的特点，研究了不同施氮量对系统作物产量及肥料利用效率的影响，以期为该区域玉米/大豆间作模式下作物高产高效生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

指示玉米 (*Zea mays* Linn.) 品种选用金穗 4 号，株型为半紧凑型，株高 250~255 cm，生育期 140 d，为中晚熟品种；大豆 [*Glycine max* (L.) Merrill] 品种选用中黄 30，株型为收敛性，株高 70~85 cm，有限结荚习性，生育期 125 d，为中熟品种。供试肥料为尿素(含 N 46%)、普通过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%)、硫酸钾(K₂O 50%)。

1.2 研究地概况

试验于 2016 年分别在甘肃省兰州市皋兰县城

关镇明星村、榆中县城关镇李家庄和永登县柳树镇柳树村进行。皋兰县试验点经度 104.35，纬度 35.23，海拔 1 754 m，年均温度 7.1 ℃，年均降水量 263 mm，年蒸发量 1 750 mm，无霜期 144 d。土壤类型为粉质壤土，耕层土壤含有机质 23.5 g/kg、碱解氮 67.4 mg/kg、速效磷 8.7 mg/kg、速效钾 164.3 mg/kg；榆中县试验点经度 104.12，纬度 35.85，海拔 1 879 m，年均温度 6.5 ℃，年均降水量 427 mm，年蒸发量 1 550 mm，无霜期 137 d。土壤类型为灰钙土，耕层土壤含有机质 17.9 g/kg、碱解氮 53.4 mg/kg、速效磷 11.5 mg/kg、速效钾 135.7 mg/kg；永登县试验点经度 103.27，纬度 36.73，海拔 2 032 m，年均温度 5.9 ℃，年均降水量 304 mm，年蒸发量 1 447 mm，无霜期 126 d。土壤类型为灌淤土，耕层土壤含有机质 21.5 g/kg、碱解氮 62.8 mg/kg、速效磷 13.8 mg/kg、速效钾 149.2 mg/kg。

1.3 试验方法

采用二因素裂区设计，试验田间布置见图 1，主因素为种植模式，分别为玉米单作(M)、大豆单作(S)、玉米间作大豆(M/S)；副因素为氮素处理(玉米、大豆施氮总量)，分别为不施氮(CK)、习惯施氮(CN)270 kg/hm²、减量施氮(RN)180 kg/hm²。玉米与大豆施氮比为 3 : 1，共 9 个处理，3 次重复，小区面积 31.68 m² (3.60 m × 8.80 m)。玉米单作(M)和大豆单作(S)采用等行距种植，行距均为 40 cm。玉米间作大豆 (M/S)采用宽窄行种植，玉米窄行 40 cm，宽行 180 cm；宽行内间作 2 行大豆，行距 40 cm，玉米与大豆的间距为 70 cm；玉米种植密度均为 6.0 万株 /hm²，大豆种植密度均为 13.5 万 /hm²，保证单作、间作方式下各作物种植密度和施肥水平一致 (图1)。玉米氮肥分 2 次施用，即底肥和大喇叭口期追施，大豆氮肥一次性施用，玉米单作(M)、大豆单作(S)采用传统株间施肥方式；玉米间作大豆(M/S)采用玉米、大豆一

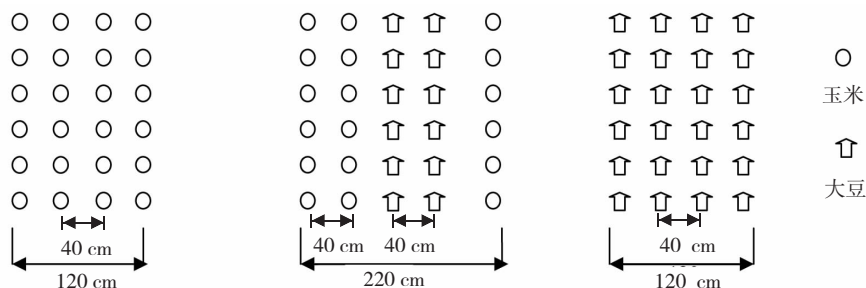


图 1 玉米、大豆单作及间作田间布置

体化施肥方式。玉米底肥统一施 N 90 kg/hm², 大喇叭口期在玉米、大豆间开沟追施剩余氮肥及大豆磷、钾肥。单作、间作玉米及单作大豆的磷、钾肥随底肥施用。玉米统一施 P₂O₅ 135 kg/hm²、K₂O 90 kg/hm²; 大豆施 P₂O₅ 75 kg/hm², K₂O 45 kg/hm²。玉米、大豆同时播种, 播期为 4 月 22 日, 玉米收获期为 10 月 2 日, 大豆收获期为 9 月 25 日。施肥方案见表 1。肥水及大田管理同当地生产。

表 1 不同种植模式的氮肥施用量

种植模式	氮肥处理	氮肥总量 (kg/hm ²)	底肥 (kg/hm ²)	追肥 (kg/hm ²)
玉米单作	不施氮	0	0	0
	习惯施氮	180	90	60
	减氮	120	90	30
大豆单作	不施氮	0	0	0
	习惯施氮	60	60	0
	减氮	40	40	0
玉米/大豆间作	不施氮	0	0	0
	习惯施氮	270	90	180
	减氮	180	90	90

1.4 生育期记载及产量调查

记载玉米及大豆播种、出苗、始花、成熟等生育时期, 统计出苗率、共生期。收获玉米、大豆时, 各小区取中间 3 带计产, 连续取玉米 15 株、大豆 20 株考种, 调查玉米及大豆株高、茎粗及产量构成因素。计算土地当量比。

$$LER = Lc + Ls$$

式中 LER 为总土地当量比(land equivalent ratio, LER); Lc 为间作玉米产量 / 单作玉米产量、Ls 为间作大豆 / 单作大豆。LER > 1, 表明间作具有优势; LER < 1 表明间作劣势。

1.5 数据处理

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 不同生态区域各处理的系统产量与土地当量比

由表 2 可知, 施氮水平对玉米、大豆产量影响显著。单作玉米(M)在传统施肥(CN)处理下产量最高, 在皋兰、榆中和永登试验点分别为 13 478.49、12 974.21、11 073.12 kg/hm², 较 CK 产量分别提高了 14.67%、17.04%和 13.78%; 间

作玉米在 RN 处理下产量较高, 在 3 个试验点分别是 12 387.02、11 994.41、10 879.27 kg/hm²。单作大豆(S)和间作大豆均在 RN 处理下产量最高, 其中单作大豆在 3 个试验点的产量分别是 2 586.26、2 494.11、2 318.47 kg/hm², 较 CK 产量分别提高了 17.27%、23.56%、16.08%, 较 CN 产量分别提高 3.83%、4.47%、2.27%; 间作大豆在 3 个试验点产量分别是 1 637.05、1 539.27、1 427.59 kg/hm², 较 CK 产量分别提高了 10.69%、27.49%、24.21%, 较 CN 产量分别提高 2.68%、3.57%、2.02%。进一步分析玉米 / 大豆间作系统的总产量, 各氮肥处理均以 RN 产量最高, 在 3 个试验点分别是 14 024.07、13 533.68、12 306.86 kg/hm²。说明适量减少氮肥促进大豆根瘤固氮, 有利于大豆产量提高。另外, 对于玉米 / 大豆间作而言, 系统产量并没有降低, 氮肥施用效率显著提高。

不同种植模式的氮肥处理在不同海拔条件下系统产量变化显著。对于单作玉米, 在皋兰、榆中和永登试验点的平均产量分别为 12 842.32、12 214.48、10 608.2 kg/hm², 说明随海拔高度的增加产量呈现下降趋势, 下降幅度为 4.89% ~ 17.39%。对于单作大豆, 在皋兰、榆中和永登试验点的平均产量分别为 2 427.48、2 299.94、2 194.25 kg/hm², 产量的变化趋势与单作玉米一致, 但降幅不大, 仅为 5.25% ~ 9.60%。对于玉米 / 大豆间作系统, 皋兰、榆中和永登 3 个点的产量分别为 13 216.32、12 418.14、11 557.84 kg/hm², 同样随海拔高度的增加产量下降, 降幅为 6.04% ~ 12.55%。从土地当量比分析, 不同海拔条件下的氮肥处理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, 但玉米 / 大豆间作模式各处理 LER 均大于 1, 表明在该种植模式和氮肥处理下, 间作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 不同处理对玉米农艺性状及产量构成因素的影响

由表 3 可以看出, 随海拔高度增加玉米生育期呈逐渐延长趋势, 在皋兰、榆中和永登试验点均能正常成熟。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, 其中, 施氮处理(CN、RN)的株高、穗位长、穗粒数、千粒重、穗长等高于 CK。单作、间作玉米穗

表 2 不同生态区域各处理系统产量与土地当量比

试验点	处理	产量/(kg/hm ²)			土地当量比		
		玉米	大豆	玉米+大豆	玉米	大豆	玉米+大豆
皋兰	M(CK)	11 754.29 b					
	M(CN)	13 478.49 a					
	M(RN)	13 294.17 a					
	S(CK)		2 205.30 c				
	S(CN)		2 490.87 b				
	S(RN)		2 586.26 a				
	M/S(CK)	10 373.59	1 479.01	11 852.60 c	0.88	0.67	1.55
	M/S(CN)	12 178.35	1 594.28	13 772.30 b	0.90	0.64	1.54
	M/S(RN)	12 387.02	1 637.05	14 024.07 a	0.93	0.63	1.56
榆中	M(CK)	11 084.93 b					
	M(CN)	12 974.21 a					
	M(RN)	12 584.29 a					
	S(CK)		2 018.39 c				
	S(CN)		2 387.32 b				
	S(RN)		2 494.11 a				
	M/S(CK)	9 994.27	1 207.39	11 201.66 c	0.90	0.60	1.50
	M/S(CN)	11 032.87	1 486.22	12 519.09 b	0.85	0.62	1.47
	M/S(RN)	11 994.41	1 539.27	13 533.68 a	0.95	0.62	1.57
永登	M(CK)	9 732.19 b					
	M(CN)	11 073.12 a					
	M(RN)	11 019.3 a					
	S(CK)		1 997.29 b				
	S(CN)		2 266.99 a				
	S(RN)		2 318.47 a				
	M/S(CK)	9 521.78	1 149.38	10 671.16 c	0.98	0.58	1.55
	M/S(CN)	10 296.22	1 399.27	11 695.49 b	0.93	0.62	1.55
	M/S(RN)	10 879.27	1 427.59	12 306.86 a	0.99	0.62	1.60

表 3 不同处理下玉米的农艺性状及产量构成因素

试验点	处理	株高/cm	穗位/cm	生育期/d	穗数/(万穗/hm ²)	穗粒数	千粒重/g	双穗率/%	穗长/cm	秃顶/cm
皋兰	M(CK)	252	137	151	5.916	527	367.4	1.2	21.4	1.1
	M(CN)	265	141	153	5.928	607	384.5	1.1	23.1	1.2
	M(RN)	257	135	154	5.892	584	382.9	1.2	23.7	1.1
	M/S(CK)	247	134	154	5.906	514	361.4	1.7	18.7	2.4
	M/S(CN)	254	137	157	5.892	563	372.3	1.7	19.9	2.5
	M/S(RN)	256	138	156	5.901	569	377.9	1.6	20.4	2.7
榆中	M(CK)	254	136	153	5.939	514	362.1	1.2	21.5	1.2
	M(CN)	261	141	155	5.943	579	377.6	1.1	22.7	1.2
	M(RN)	259	139	156	5.957	554	379.5	1.1	22.5	1.3
	M/S(CK)	251	134	154	5.897	479	349.4	1.6	18.2	2.5
	M/S(CN)	257	136	157	5.913	509	357.3	1.7	19.4	2.7
	M/S(RN)	255	134	157	5.883	521	361.8	1.6	20.2	2.7
永登	M(CK)	242	132	159	5.949	524	345.5	1.1	19.2	1.2
	M(CN)	249	135	162	5.961	557	362.4	1.2	22.4	1.4
	M(RN)	247	136	162	5.972	548	365.8	1.1	22.7	1.3
	M/S(CK)	245	133	163	5.913	467	342.1	1.5	18.4	2.9
	M/S(CN)	247	136	165	5.916	489	359.4	1.5	19.1	3.1
	M/S(RN)	246	135	164	5.894	493	363.6	1.7	19.7	2.9

粒数变化幅度分别为 3.79%~10.27%、1.73%~19.34%，千粒重变化幅度分别为 0.42%~5.75%、1.49%~9.86%，穗长变化幅度分别为 2.53%~18.99%、2.45%~9.8%。但玉米秃顶长度随海拔高度的增加而增加。相对于单作玉米，间作玉米千粒重分别下降了 2.05%、4.53%、0.80%，说明影响间作玉米产量下降的主要原因是千粒重的下降。

单作模式下，玉米穗粒数和千粒重表现为传统施氮(CN)和减量施氮(RN)间差异较小，但与CK间差异明显，穗粒数较CK平均增加了4.60%和4.95%，千粒重平均增加了9.83%、10.95%。间作模式下，玉米穗粒数和千粒重在减量施氮(RN)处理下最高，在皋兰、榆中、永登试验点穗粒数分别为569、521、493粒，较CK分别增加了10.7%、8.77%、5.57%，较CN增加幅度为1.14%~2.74%；千粒重在3个试验点分别为377.9、361.8、363.6g，较CK分别增加了4.57%、

3.55%、6.28%。

2.3 不同处理对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的生育期逐渐均有延长，变化幅度分别为2.92%~10.22%、3.59%~11.51%。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4.62%~9.23%、4.48%~10.45%，底荚高度变化幅度分别为1.29%~15.58%、7.95%~17.22%。对大豆产量构成因素而言，RN处理下有效荚数、百粒重较高。尤其是有效荚数，单作模式下在皋兰、榆中、永登3个试验点分别是37.4、35.2、32.2个，较CK分别增加了16.15%、12.1%、9.52%；间作模式在3个点分别是26.5、27.9、26.4个，较CK分别增加了34.5%、30.98%、35.39%，较CN分别增加了23.83%、17.72%、16.29%，差异明显。说明适量

表4 不同海拔条件下大豆的农艺性状及产量构成因素

试验点	处理	株高/cm	底荚高/cm	生育期/d	株数/(万株/hm ²)	分枝数/枝	有效荚/个	荚粒数/粒	单株粒数/粒	百粒重/g
皋兰	S(CK)	65	15.4	137	13.319	2.7	32.2	2.4	77.3	21.3
	S(CN)	68	17.8	139	13.353	3.1	36.8	2.4	90.7	22.1
	S(RN)	69	17.2	139	13.121	3.2	37.4	2.5	93.5	22.9
	M/S(CK)	67	15.1	139	12.938	1.3	19.7	2.3	45.3	19.7
	M/S(CN)	72	16.9	143	13.052	1.2	21.4	2.4	51.4	20.2
	M/S(RN)	75	17.3	143	12.972	1.4	26.5	2.4	63.6	20.6
榆中	S(CK)	67	15.3	141	13.304	2.7	31.4	2.4	75.4	21.3
	S(CN)	69	16.9	144	13.353	2.9	34.7	2.4	83.3	22.4
	S(RN)	71	16.7	145	12.966	3.1	35.2	2.5	88.0	22.7
	M/S(CK)	71	17.1	144	12.941	1.1	21.3	2.3	49.0	19.8
	M/S(CN)	74	17.5	147	12.891	1.2	23.7	2.4	56.9	20.1
	M/S(RN)	76	17.7	148	12.957	1.1	27.9	2.4	67.0	20.4
永登	S(CK)	65	15.4	146	13.199	2.6	29.4	2.3	67.6	19.2
	S(CN)	68	16.1	149	13.206	2.7	31.6	2.4	75.8	20.1
	S(RN)	69	17.4	151	13.353	2.9	32.2	2.4	77.3	20.4
	M/S(CK)	71	16.3	147	13.088	1.1	19.5	2.2	42.9	19.4
	M/S(CN)	73	16.9	154	12.974	1.3	22.7	2.3	52.2	19.8
	M/S(RN)	73	16.7	155	12.947	1.3	26.4	2.4	63.4	20.2

减少氮肥施用,能有效促进单作或间作大豆有效荚数的形成,进而影响大豆产量。

3 小结与讨论

试验结果表明,不同种植模式下的玉米、大豆在施氮量不同时产量差异明显。在皋兰、榆中、永登3个试验点,单作玉米在施氮量为270 kg/hm²时产量较高,分别为13 478.49、12 974.21、11 073.12 kg/hm²;而间作玉米在施氮量为180 kg/hm²时产量较高,分别为12 387.02、11 994.41、10 879.27 kg/hm²。单作大豆和间作大豆3个试验点均在施氮180 kg/hm²下产量最高。玉米/大豆间作系统的总产量,均以施氮量为180 kg/hm²产量最高,分别是14 024.07、13 533.68、12 306.68 kg/hm²。玉米/大豆间作模式各处理LER均大于1,表明在该种植模式和氮肥处理下,间作可提高土地复种指数和土地利用效率,具有良好的产量优势。由此可见,在兰州市不同海拔条件下,玉米/大豆间作模式较传统施氮、减量施氮条件下玉米产量略有降低,而减量施氮有利于大豆有效荚的形成,较传统施氮处理,产量显著增加。对玉米/大豆间作系统,减量施氮显著增加了间作玉米穗粒数和大豆有效荚数,最终提高了系统产量,适宜在该区域推广。

以往研究表明,通过豆科与非豆科作物间作能够促进作物生长和增产,提高氮肥利用率,合理的田间群体结构和施肥水平能够显著地提高氮肥利用效率^[7-10]。目前新型肥料的研发、施肥方法的改进和融合、种植模式的改革等一系列举措,加上国家相对健全的推广体系,已有很多研究表明化肥减量是可行的。战秀梅等^[11]和邹晓锦等^[12]研究发现,与传统施肥相比,氮肥适量减施下单作玉米产量并没有降低,氮肥利用率提高了20.7%。另有研究表明,氮肥减施20%~30%对稻麦轮作体系作物产量没有降低,而氮肥单季利用率、氮素农学利用率和氮素偏因子生产力显著提高^[13]。刘小明等^[14]研究了氮肥减量对套作系统产量的影响,表明与习惯施氮相比,减量施氮处理下系统总经济系数为0.49,LER可达到2.17,显著提高系统产量。

本课题组前期的研究表明,豆科/非豆科间套作具有明显的间套作优势,主要是由于作物地下部根系生态位时空互补和根际过程促进作物养分高效吸收利用。同时也发现,豆科/非豆科间套作

能提高间作豆科作物的生物固氮量^[3]。

参考文献:

- [1] 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.
- [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] 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.
- [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] LIU X J, ZHANG Y, HAN W X, *et al.* Enhanced nitrogen deposition over China [J]. *Nature*, 2013, 494: 459-462.82.
- [6] 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): 403-415.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 袁宁,孙振荣,蒲明,等. 氮肥后移对旱作玉米氮肥利用率及产量的影响[J]. *甘肃农业科技*, 2015(10): 4-6.
- [11] 战秀梅,李亭亭,韩晓日,等. 不同施肥方式对春玉米产量、效益及氮素吸收和利用的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011(17): 861-868.
- [12] 邹晓锦,张鑫,安景文. 氮肥减量后移对玉米产量和氮素吸收利用及农田氮素平衡的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2011(6): 25-29.
- [13] 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.
- [14] 刘小明,雍太文,苏本营,等. 减量施氮对玉米-大豆套作系统中作物产量的影响[J]. *作物学报* 2014, 40(9): 1629-1638.

(本文责编:陈伟)