

DOI: 10.5846/stxb201405090927

王晓维, 杨文亭, 缪建群, 徐健程, 万进荣, 聂亚平, 黄国勤. 玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响. 生态学报, 2014, 34(18): 5275-5282.

Wang X W, Yang W T, Miao J Q, Xu J C, Wan J R, Nie Y P, Huang G Q. Effects of maize-soybean intercropping and nitrogen fertilizer on yield and agronomic traits of maize. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(18): 5275-5282.

玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响

王晓维^{1,2,3}, 杨文亭^{1,2,3}, 缪建群^{1,2,3}, 徐健程^{1,2,3}, 万进荣^{1,2,3}, 聂亚平^{1,2,3}, 黄国勤^{1,2,3,*}

(1. 江西农业大学生态科学研究中心, 南昌 330045;

2. 江西农业大学作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室, 南昌 330045; 3. 江西农业大学农学院, 南昌 330045)

摘要:为研究玉米-大豆间作模式和施氮水平对玉米产量、主要农艺性状及生长动态的影响,进行 2 个种植模式(玉米单作和玉米-大豆间作)和 2 个施氮水平(0 kg/hm², 150 kg/hm²)的双因素随机区组试验,以期揭示施氮和间作对玉米产量的影响规律,为提高玉米-大豆间作系统产量提供一定的理论依据。研究表明:(1)与不施氮相比,施氮显著增加了春秋两季间作玉米产量,分别达到 23.81% 和 40.99%。施氮处理下的间作玉米地上部生物量较不施氮提高了 29.91%,单作模式下显著提高了 40.34%,两者差异均达到显著水平。(2)与不施氮相比,施氮 150 kg/hm² 条件下春玉米单作和间作模式百粒重分别提高了 18.92% 和 19.23%,秋玉米单作和间作模式百粒重分别提高了 31.03% 和 32.75%,差异均达到显著水平。与不施氮相比,施氮 150 kg/hm² 条件下,单作和间作模式均显著提高秋玉米穗长。与不施氮相比,施氮 150 kg/hm² 条件下,单作秋玉米的穗粗提高了 18.67%,差异显著。(3)施氮和间作均能促进玉米干物质累积、提高株高和叶绿素(SPAD 值),且表现为施氮效果高于间作效果。总体来看,种植模式和施氮水平对玉米产量、主要农艺性状和生长动态均有一定影响,且施氮效果优于间作效果。由于土壤具有一定的供氮能力,而间作豆科能为玉米供给一定量的氮素,故对于春玉米而言,施氮效果仅在百粒重中表现,随着土壤原有氮素被玉米吸收利用减少后,供氮能力下降,在秋玉米中施氮效果显著提高。

关键词:间作;施氮;产量;农艺性状;玉米

Effects of maize-soybean intercropping and nitrogen fertilizer on yield and agronomic traits of maize

WANG Xiaowei^{1,2,3}, YANG Wenting^{1,2,3}, MIAO Jianqun^{1,2,3}, XU Jiancheng^{1,2,3}, WAN Jinrong^{1,2,3}, NIE Yaping^{1,2,3}, HUANG Guoqin^{1,2,3,*}

1 Research Center of Ecological Sciences, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

2 Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

3 College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China

Abstract: Intercropping, with 1000-year history in Chinese agriculture, is still widespread in modern Chinese agriculture. The environmental resources, such as light, water and mineral nutrients, might be used more efficiently in intercropping than in monoculture by crops, which resulted in greater yield. The interaction among crops in intercropping might help the usage of environmental resources by crops. One of the vital roles of legumes played in cropping systems is their ability to fix nitrogen from air. However, Species of Leguminosae are known as weaker competitors to species of Gramineae. The concentration of soil inorganic N following legumes was often higher than that following cereal crops. To study the effects of maize-soybean intercropping and nitrogen levels on corn yield, main agronomic characters and growth dynamic, we

基金项目:国家自然科学基金重点项目(U1033004);国家自然科学基金项目(31360108)

收稿日期:2014-05-09; **修订日期:**2014-08-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hgqjnc@sina.com

conducted a double-factor randomized block experiment of two planting patterns (corn monoculture and maize-soybean intercropping) and two nitrogen levels (0 kg/hm^2 , 150 kg/hm^2). The results showed that: cropping patterns and nitrogen levels had no significant effect on the yield of spring maize; the yield of monoculture maize in autumn with N application (150 kg/hm^2) was significantly higher than the other three treatments. Comparing to no nitrogen treatment, hundred-grain weight with N 150 kg/hm^2 increased by 18.92% and 19.23% respectively in the mode of spring maize monoculture and intercropping. In the mode of autumn maize monoculture and intercropping, hundred-grain weight of the treatment with N 150 kg/hm^2 was significant higher than those of no nitrogen treatments, increased by 31.03% and 32.75% respectively. There was no significant difference in maize hundred-grain weight between intercropping and monoculture under the same N application. There was no significant difference of ear length among the treatments of spring maize. Comparing to no nitrogen treatment, the ear length of autumn maize in the treatment with N 150 kg/hm^2 in monoculture and intercropping patterns were both significantly improved. On the aspect of ear width, there was no significant difference between the treatments of spring maize; while autumn maize monoculture increased by 18.67% under N 150 kg/hm^2 comparing to N 0 kg/hm^2 . However, intercropping had no significant difference in autumn maize. On the aspect of spike grain number, there was no significant difference between the treatments of spring maize; while autumn maize grain number was significantly higher than the other three under monoculture and N 150 kg/hm^2 . Nitrogen and intercropping both could improve SPAD value and plant height of maize, and promote the maize dry matter accumulation, while there was no significant difference among the treatments. Overall, cropping patterns and nitrogen levels had effects on maize yield, main agronomic characters and growth dynamic. The effects of intercropping were less than nitrogen level, because soil and Leguminosae had a certain capacity of supplying nitrogen for maize. The effects of nitrogen application on spring maize were only presented in the hundred-grain weight. As the nitrogen in soil was absorbed by maize, the nitrogen supporting from soil decreased, leading to the significantly effects of nitrogen application in the autumn maize.

Key Words: agronomic properties; intercropping; maize; nitrogen fertilization; yield

氮素是植物生长最基本的元素之一,参与植物重要的生理和代谢活动^[1]。施用氮肥是维持作物产量和品质的重要措施之一。而中国每年约消耗全球30%的氮肥^[2],而且施氮施用量不断上升,从1989年到2002年13年间,氮肥施用量增加了84%,粮食产量只提高了12%^[3],氮肥利用效率却降低了7.5%^[4],大量氮素以地表径流、氨挥发、淋溶等形式流失,进而带来一系列如水体富营养化等生态环境问题^[5-7]。在保证作物产量稳定的情况下,通过间作来减少氮肥施用成为当今农业领域研究热点之一。

禾本科和豆科间作,不仅可以利用豆科作物共生根瘤固氮,同时又能向禾本科植物转移氮素,提高了禾本科植物对氮素的吸收利用效率,同时通过间作竞争,禾本科植物吸收了较多的氮素,减低了土壤中氮含量,缓解了氮素对固氮酶活性的影响,增加了豆科植物的固氮效率^[8-10]。前人已对禾本科和豆科种植模式进行了筛选,如蚕豆间作玉米^[11-15],蚕豆间作大麦^[16],蚕豆间作小麦^[17],豌豆间作小麦^[18]等,

这些研究均表明,间作促进了禾本科作物对氮素的吸收利用效率,同时提高了土地利用效率和作物总体产量。本文通过研究种植模式和施氮水平对玉米产量、产量构成要素和生长动态指标的影响,以期揭示施氮和间作对玉米产量的影响规律,为玉米科学施用氮肥,提高玉米产量提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 样地概况

本试验于2013年在江西农业大学农业科技园红壤旱地($115^{\circ}55'E$, $28^{\circ}46'N$)中进行。该样地处南亚热带湿润季风气候,年平均温度 $16.6^{\circ}C$,日平均温度 $\geq 10^{\circ}C$ 积温达 $5532.6^{\circ}C$,无霜期约为272 d,年降水量为1600mm。土壤为第四纪红色黏土发育的红壤。试验前均耕实验小区后,耕作层土壤基础养分分别为有机质 28.67 g/kg ,全氮 1.13 g/kg ,碱解氮 106.25 mg/kg ,有效磷 101.83 mg/kg ,速效钾 152.75 mg/kg ,pH值4.5。

1.2 试验方法

1.2.1 试验材料

玉米品种,春季为赣新白糯二号,秋季为中糯103。

大豆品种为台湾292。

1.2.2 试验设计

本试验分两季,于2013年4月—10月进行。采用双因素(施氮水平、种植模式)试验,两种施氮水平,两种玉米种植模式,共设4个处理(表1)。试验采用随机区组设计,每个处理设3次重复,小区长为5.5 m,宽为6 m,面积为33 m²。单作玉米行距为60 cm,株距30 cm,每小区种植10行,每行种植18穴,每穴定植1株。玉米-大豆间作中,玉米采用宽窄行种植,窄行玉米行距为40 cm,株距30 cm,每行种植玉米数与单作相同。宽行中间种植3行大豆,大豆行距为30 cm,株距20 cm,每行种植25穴,每穴在苗期定植2株。每小区种植玉米8行,大豆9行。

表1 玉米-大豆田间试验设计

Table 1 Field experiment design of maize-soybean

处理 Treatments	施氮水平/(kg/hm ²) Nitrogen rates	种植方式 Cropping patterns
CSN0	0	玉米-大豆间作
CSN1	150	玉米-大豆间作
MCN0	0	单作玉米
MCN1	150	单作玉米

表2 秋季种植前土壤基础养分

Table 2 Autumn before planting base soil nutrient

处理 Treatments	全氮 Total nitrogen/ (g/kg)	碱解氮 Alkaline hydrolysis nitrogen/ (mg/kg)	有效磷 Effective phosphorus/ (mg/kg)	速效钾 Available potassium/ (mg/kg)
CSN0	1.73	94.41	74.26	223.92
CSN1	1.72	90.01	58.85	171.40
MCN0	1.72	87.58	67.39	181.63
MCN1	1.73	92.45	63.78	167.31

1.3 测定项目与方法

1.3.1 干物质的测定

于苗期、拔节期、抽雄期、成熟期每小区随机取3株长势相近玉米样品,于105℃杀青30 min,经80℃烘干至恒重,测定干物质积累量,以平均值计数。

1.3.2 株高和叶绿素含量

于苗期、拔节期、抽雄期、成熟期每小区随机选5株长势相近玉米,测量其基部到植株顶端的高度即

田间试验于4月1日播种春玉米,4月9日播种春大豆,于6月25日收获。8月1日播种秋玉米,8月14日移栽,同天播种大豆,10月28日收获。两季玉米施氮处理均在播种前施底肥N 30kg/hm²、P 375 kg/hm²、K 67.5 kg/hm²,分别在玉米拔节期和抽雄期分别追施N 45 kg/hm²和75 kg/hm²,K 67.5 kg/hm²和90 kg/hm²,所有肥料均施于玉米行中。不施氮肥处理仅不施尿素,其他施肥量和施肥时间与施氮处理一致。试验其他栽培管理措施与当地大田生产一致,试验作物生育期内的气候数据见图1所示,试验种植一季收获后土壤基础养分见表2所示。

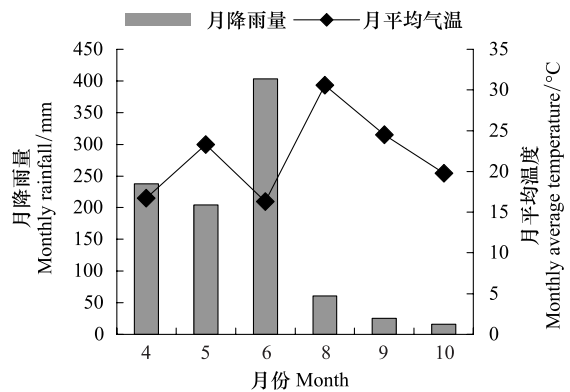


图1 试验作物生育期内的月降雨量和平均气温

Fig. 1 Monthly rainfall and mean air temperature of the growing season of the experimentation

为株高。同期用手持式叶绿素测定仪(SPAD-520)进行叶片SPAD值测定。其中苗期和拔节期测定上位叶即最新完全展开叶,抽雄期开始测定穗位叶。各时期均选取叶片中部,避开叶脉,沿叶脉左右各测3点,以平均值计数。

1.3.3 产量及产量构成要素

在玉米成熟期统计各处理小区全部株数,测定玉米的穗位高。随机取10穗进行室内考种,测定穗

长、穗粗、秃尖长度、穗粒数、百粒重、单穗鲜重等指标,各处理收获后称取鲜食玉米作为其产量。

1.3.4 数据处理

用 Excel 进行数据处理,用 SPSS17.0 统计软件进行方差分析及相关性检验。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式和施氮水平对玉米产量的影响

从表 3 可以看出,春季,间作条件下,不施氮和施氮处理玉米产量较单作分别显著下降了 27.29% 和 16.52%,但施氮较不施氮产量显著增加了

表 3 不同种植模式和施氮水平对玉米产量的影响

Table 3 The Corn yield under different cropping patterns and nitrogen rates

处理 Treatments	玉米产量 Mazie yield/(t/hm ²)	
	春季 Spring	秋季 Autumn
CSN0	8.53±0.48c	7.42±0.44c
CSN1	10.56±0.65b	10.46±1.09b
MCN0	11.73±0.81ab	9.72±0.32bc
MCN1	12.65±0.61a	13.92±1.24a
双因素方差分析 Two-factor variance analysis (F)		
氮水平 N level	5.150	17.392**
种植模式 Cropping pattern	16.579**	11.304*

数值为平均值±标准误;同列数字后的不同小写字母表示利用 Duncan 检验有显著差异 ($P<0.05$), * 表示显著差异 ($P<0.05$), ** 表示极显著差异 ($P<0.01$)

23.81%,但施氮对单作玉米产量增加效果并不显著。秋季,间作条件下,不施氮和施氮处理玉米产量较单作分别显著下降了 23.69% 和 24.91%,且施氮较不施氮产量显著增加了 40.99%。总体来看,通过双因素方差分析可知,春季间作对玉米产量具有极显著的增产作用,而施氮对春季玉米产量的影响则未达到显著水平,可能与土壤本身具有一定供氮能力有关。秋季间作对玉米产量具有显著的增产作用,而施氮对玉米产量的增加作用则达到极显著水平。

2.2 不同种植模式和施氮水平对玉米产量构成要素的影响

作物种植方式和施氮水平对作物产量的影响可以通过对作物产量构成要素的影响表现出来。从表 4 可以看出,对于春玉米而言,在不施氮条件下,间作玉米穗位高、穗长、穗粗、穗粒数、百粒重、秃尖长和单穗鲜重均高于单作玉米,但未达到显著水平 ($P>0.05$)。在施氮条件下,间作玉米穗位高、百粒重、秃尖长和单穗鲜重均高于单作玉米,但亦未达到显著水平 ($P>0.05$)。无论单作还是间作玉米,除秃尖长外,施氮处理的玉米穗位高、穗长、穗粗、穗粒数、百粒重、秃尖长和单穗鲜重均高于不施氮处理,且具有相同的变化趋势,但未达到显著水平 ($P>0.05$)。综合上述,施氮肥和间作对春玉米产量构成要素影响均为达到显著水平。

表 4 不同种植模式和施氮水平对春玉米产量构成要素的影响

Table 4 Effect of different cropping patterns and nitrogen rates on spring corn yield components

处理 Treatments	CSN0	CSN1	MCN0	MCN1	双因素方差分析	
					Two-factor variance analysis(<i>F</i>)	
					氮水平 N level	种植模式 Cropping pattern
穗位高 Ear height/cm	46.51±2.08a	49.8±10.14a	41.19±9.00a	56.89±1.57a	0.015	1.008
穗长 Spike length/cm	24.39±0.55a	26.97±0.44a	25.85±1.53a	25.99±1.31a	0.168	0.581
穗粗 Ear diameter/cm	4.56±0.25a	5.04±0.22a	5.01±0.19a	4.95±0.39a	0.051	0.045
穗粒数 Kernels number/粒	340.20±52.45a	451.36±15.45a	400.76±32.33a	442.00±12.44a	3.659	1.526
百粒重 100-grain weight/g	19.46±2.51a	21.52±4.45a	22.73±0.01a	26.27±2.67a	0.003	1.973
秃尖长 Bald length/cm	2.99±0.15a	2.49±0.29a	2.74±0.43a	2.65±0.30a	0.091	1.916
单穗鲜重 Single spike weigt/g	144.30±38.73a	177.96±25.38a	177.63±10.03a	219.92±13.61a	1.722	1.066

同行数字后的不同小写字母表示利用 Duncan 检验有显著差异,施氮和间作效应比较采用独立样本 T 检验 ($P<0.05$)

从表 5 可以看出,对于秋玉米而言,4 个处理之间秋玉米的穗位高和秃尖长均无显著差异 ($P>0.05$),但施氮处理玉米的穗位高均高于不施氮处理,秃尖长均低于不施氮处理。而不施氮条件下,单

作玉米穗位高较间作玉米有所增加,而施氮条件下,则表现为间作玉米穗位高高于单作玉米。无论是施氮处理和不施氮处理间作玉米秃尖长均高于单作玉米。在施氮条件下,与不施氮处理相比,秋玉米的穗

长、穗粗、穗粒数、百粒重和单穗鲜重均显著增加,说明施氮肥能显著促进玉米产量的增长,且施氮对穗粗、穗粒重、百粒重、单株穗数增加具有极显著的影响。而不同的种植模式对玉米穗粗、穗粒重、百粒重、单株穗数均无显著的影响。但不同的种植模式下,施氮处理与不施氮处理之间产量构成要素的影响并不一致,其中间作模式下,除百粒重外,穗长、穗

粗、穗粒数和单穗鲜重施氮处理和不施氮处理之间均无显著差异,说明玉米-大豆间作中大豆通过共生根瘤菌固氮作用能为玉米生长提供一定氮素,从而在一定程度上维持玉米产量。而单作模式下,除穗位高和秃尖长外,施氮处理的玉米穗长、穗粗、穗粒数、百粒重和单穗鲜重均显著高于不施氮处理。

表 5 不同种植模式和施氮水平对秋玉米产量构成要素的影响

Table 5 Effect of different cropping patterns and nitrogen rates on autumn corn yield components

处理 Treatments	CSN0	CSN1	MCN0	MCN1	独立样本 <i>T</i> 检验 Independent-samples <i>T</i> Test (<i>F</i>)	
					氮水平 N level	种植模式 Cropping pattern
穗位高 Ear height/cm	45.19±1.74a	37.19±4.26a	38.99±1.06a	36.08±3.80a	2.662	0.338
穗长 Spike length/cm	22.87±1.16ab	26.5±1.42a	21.36±1.64b	26.43±1.64a	0.001 *	0.633
穗粗 Ear diameter/cm	4.59±0.04bc	5.23±0.33ab	4.43±0.15c	5.26±0.13a	2.405 **	0.021
穗粒数 Kernels number/粒	342.82±1.00b	422.29±37.65ab	348.43±17.36b	483.99±50.09a	3.621 **	0.749
百粒重 100-grain weight/g	21.51±0.22b	31.98±2.15a	21.71±1.65b	31.47±1.31a	1.339 **	0.005
秃尖长 Bald length/cm	3.83±0.12a	2.68±0.41a	2.93±0.70a	2.52±0.36a	1.708	0.735
单穗鲜重 Single spike weight/g	187.06±1.31bc	242.03±25.12ab	164.17±16.91c	257.86±22.99a	1.640 **	0.069

2.3 不同种植模式和施氮水平对玉米干物质累积量的影响

由于单作和间作玉米种植密度不一,故以玉米单株干物质累积量来探讨施氮和间作对玉米干物质累积量的影响。从图 2 和图 3 中可以看出,春秋两季玉米生长均呈现出随着生育期的推移,玉米干物质累积量逐渐增加的趋势,春季玉米干物质累积量增长最快的时期是从拔节期到抽雄期,而秋季玉米干物质累积量增长最快的时期则是从抽雄期到成熟期

之间,可能与秋季种植期降雨量明显少于春季有关。成熟期前各处理间干物质累积量均无显著差异。成熟期时,春秋两季玉米干物质累积特性均表现为间作高于单作,施氮高于不施氮。在施氮条件下,春秋两季玉米成熟期间作干物质累积量比单作干物质累积量分别增加 15.73% 和 5.54%,其中春季差异达到显著水平。在不施氮条件下,春秋两季成熟期玉米间作干物质累积量比单作干物质累积量分别增加

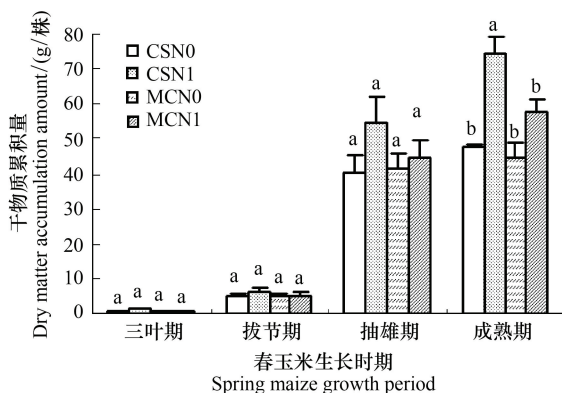


图 2 不同种植模式和施氮水平对春玉米干物质累积量的影响
Fig.2 Effect of different cropping patterns and nitrogen rates on spring corn dry matter accumulation

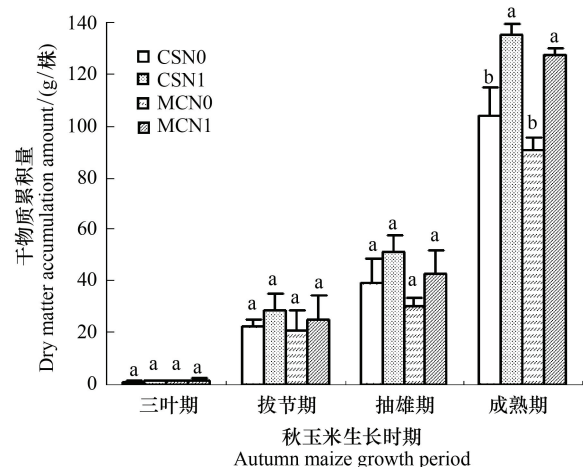


图 3 不同种植模式和施氮水平对秋玉米干物质累积量的影响
Fig.3 Effect of different cropping patterns and nitrogen rates on autumn corn dry matter accumulation

13.26%和 14.01%,但差异未达到显著水平。说明对玉米干物质累积量而言,施氮和间作均能促进玉米干物质质量的累积,且施氮对玉米干物质累积量的增加效应高于间作处理。

2.4 不同种植模式和施氮水平对玉米株高的影响

从图 4 和图 5 中可以看出,春秋两季各处理间玉米株高均随着生育期的推进不断增加,从三叶期到拔节期株高迅速增加,其后趋于稳定增长,且两季玉米变化规律一致。成熟期时,各处理株高从高到底依次为:CSN1>MCN1>CSN0>MCN0,但各处理间差异未达到显著水平。成熟期时,在施氮条件下,与单作相比,春秋两季玉米间作株高比单作株高分别增加 0.31%和 6.77%,不施氮条件下,春秋两季玉米间作株高比单作株高分别增加 1.18%和 1.86%。在间作模式下,春秋两季玉米施氮处理株高比不施氮株高分别增加 9.60%和 10.82%,在单作模式下,春秋

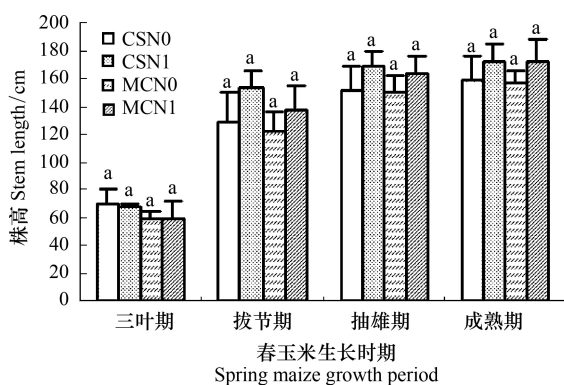


图 4 不同种植模式和施氮水平对春玉米株高的影响

Fig.4 Effect of different cropping patterns and nitrogen rates on spring corn stem length

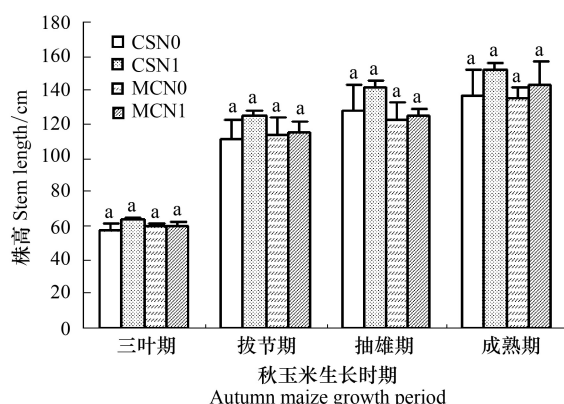


图 5 不同种植模式和施氮水平对秋玉米株高的影响

Fig.5 Effect of different cropping patterns and nitrogen rates on autumn corn stem length

两季玉米施氮处理株高比不施氮株高分别增加 10.56%和 5.72%,综合来看,就玉米株高而言,施氮对株高的共享要显著大于间作。

2.5 不同种植模式和施氮水平对玉米叶绿素 (SPAD 值) 的影响

从图 6 和图 7 中可以看出,春秋两季各处理间玉米叶绿素 SPAD 值均从苗期至抽雄期随着时间的推移逐渐增加,到抽雄期达到最大,之后逐渐降低,可能由于氮素主要集中在叶片等营养器官中,玉米的 SPAD 值较高;抽雄期后,玉米从营养生长向生殖生长过渡,氮素由叶片等营养器官转移到籽粒等生殖器官中,导致叶片的 SPAD 值下降。且相同种植模式下,均表现为施氮处理 SPAD 值高于不施氮处理。春季自拔节期起,施氮处理 SPAD 值均显著高于不施氮处理,而间作与单作间 SPAD 值差异不显著。秋季,亦均有相同的趋势,但仅在成熟期,单作不施氮 SPAD 值显著低于施氮处理,抽雄期前,其他处理间均未表现出显著差异。综合来看,就玉米 SPAD 值而言,施氮的相对贡献效果要明显高于间作。

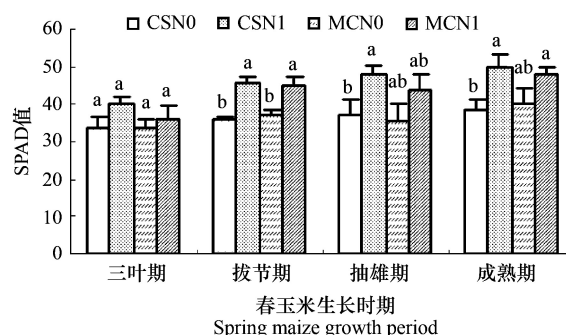


图 6 不同种植模式和施氮水平对春玉米 SPAD 值的影响

Fig.6 Effect of different cropping patterns and nitrogen rates on spring corn SPAD values

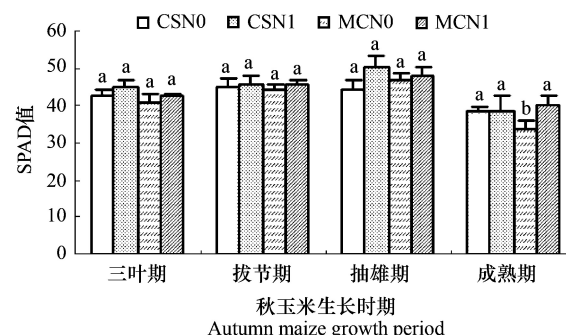


图 7 不同种植模式和施氮水平对秋玉米 SPAD 值的影响

Fig.7 Effect of different cropping patterns and nitrogen rates on autumn corn SPAD values

3 讨论

氮素作为农田生态系统中重要的营养元素,近年来由于过量投入,导致面源污染问题出现,Zhang等^[19]研究表明农田氮素盈余大于20%即会对环境造成潜在威胁。而豆科和禾本科间作系统中,豆科作物通过共生根瘤菌固氮作用,能向禾本科植物转移一定的氮素从而提高了禾本科植物的氮素吸收效率^[20],虽然间作玉米产量会有所下降,但合计大豆产量,间作系统较单作具有明显的产量优势^[21],同时通过与豆科作物间作亦能通过豆科作物自身根瘤菌固氮,减少氮肥施用,从而氮素流失的风险,提高氮肥的利用效率。从研究结果来看,相同的施氮条件下,试验研究的间作系统中产量均低于单作产量,一方面受到种植密度所限,另一方面受氮肥施用与否的调控,且氮肥对间作系统的增产效应明显,与Justes^[22]研究结果一致。同时春季由于土壤为多年种植土壤,本身能为玉米生长提供一定量的氮素,故施氮水平对玉米产量的影响效果未达到显著水平,随着植株收获将吸收的氮素带离土壤,故秋季种植时,土壤氮素出现一定量的亏损,因而施氮对产量的促进作用显著。

从春季各处理间产量构成要素均未出现显著差异,可能由于土壤具有一定的供氮能力,虽然未施氮肥,但土壤的氮素尚能维持春玉米的生长,故施氮与不施氮间无明显差异。而秋季,由于上茬玉米对土壤氮素的消耗,故秋季施氮处理显著增加了玉米的穗长、穗粗、百粒重和单穗鲜重等产量构成要素指标。

从干物质累积量、株高和叶绿素含量3个玉米生长动态指标来看,施氮和间作均能促进干物质累积、株高和叶绿素的提高,其中施氮处理对三者的相对贡献率要高于间作,由于本试验设置施氮水平为0和150kg/hm²,相差量巨大,不施氮处理仅靠土壤原有氮素供给及大豆根瘤固氮,而施氮150kg/hm²,则是满足作物生长要求的最低值,故将较间作仅是大豆固定的氮量相比,施氮150kg/hm²的氮供给的要明显大于大豆根瘤固氮量。

4 结论

与单作相比,玉米和大豆间作能够更好地利用

自然资源,具有一定的间作优势,施氮和间作均能提高玉米的产量,但施氮的相对贡献效果要高于间作。施氮肥和间作对春玉米产量构成要素影响均未达到显著水平,但显著增加了秋玉米的百粒重,同时施氮增加了单作秋玉米穗长、穗粗、穗粒数、百粒重和单穗鲜重。施氮和间作均能增加玉米干物质累积量、株高和叶绿素含量,但施氮的相对贡献效果要高于间作。

References:

- [1] Zhao H X, Bian S F, Sun N, Cai H M, Yang H L, Qiu J, Han X G, Guan J, Yuan J P. Effects of nitrogen application on nitrogen dynamic changes and nitrogen use efficiency in maize. *Journal of Maize Sciences*, 2012, 20(3): 122-129.
- [2] Heffer P. Assessment of fertilizer use by crop at the global level. 2009. [EB/OL]. [2012-12-20]. <http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/LIBRARY/Publication-database.html/>.
- [3] Li J, Peng J L, Kang J, Lin W F, Zhou L J. Nitrogen fertilizer reduction research status quo and its prospect Hunan Agricultural Science, 2012, (12): 23-24.
- [4] Zhao S C, Pei X X, He P, Zhang X Z, Li K H, Zhou W, Liang G Q, Jin J Y. Effects of reducing and postponing nitrogen application on soil N supply, plant N uptake and utilization of summer maize. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(2): 492-497.
- [5] Pappa V A, Rees R M, Walker R L, Baddeley J A, Watson C A. Nitrous oxide emissions and nitrate leaching in an arable rotation resulting from the presence of an intercrop. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 141(1/2): 153-161.
- [6] Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, Cui Z L, Ma W Q, Chen X P, Jiang R F. Nutrient use efficiencies of major cereal crops in china and measures for improvement. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 915-924.
- [7] Guo L Z, Zhang H T, He Y H, Cai Q, Huang G B. Effect of rhizobium inoculation on crop growth and nitrogen nutrition of a pea/maize intercropping system. *Acta Prataculturae Sinica*, 2012, 21(1): 43-49.
- [8] Song Y N, Zhang F S, Marschner P, Fan F L, Gao H M., Bao X G., Sun J H, Li L. Effect of intercropping on crop yield and chemical and microbiological properties in rhizosphere of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.), and faba bean (*Vicia faba* L.). *Biology and Fertility of Soils*, 2007, 43(5): 565-574.
- [9] He Y, Ding N, Shi J C, Wu M, Liao H, Xu J M. Profiling of microbial PLFAs: Implications for interspecific interactions due to intercropping which increase phosphorus uptake in phosphorus limited acidic soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 57:

- 625-634.
- [10] Li L, Zhang F S, Li X L, Christie P, Sun J H, Yang S C, Tang C X. Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, 65(1): 61-71.
- [11] Li C J, Li Y Y, Yu C B, Sun J H, Christie P, An M, Zhang F S, Li L. Crop nitrogen use and soil mineral nitrogen accumulation under different crop combinations and patterns of strip intercropping in northwest China. *Plant and Soil*, 2011, 342(1/2): 221-231.
- [12] Ye Y L, Li L, Sun J H, Zhang F S. Effect of root separation on plant nitrogen uptake and soil nitrate nitrogen residual in faba bean/maize intercropping. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(3): 13-16.
- [13] Li Y Y, Sun J B, Yu C B, Cheng X, Zhang F S, Li L. Effects of nitrogen fertilization application and faba bean/maize intercropping on the spatial and temporal distribution of soil inorganic nitrogen. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(4): 815-823.
- [14] Li Q Z, Yu C B, Hu H B, Sun J H, Chen W, Li L. Difference of nitrogen utilization and distribution of mineral nitrogen in soil profile by competitive abilities of intercropping systems. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(4): 777-785.
- [15] Xiao J X, Tang L, Zheng Y, Dong Y. Effects of N level on yield of crops, N absorption and accumulation of barley in barley and faba bean intercropping system. *Journal of Triticeae Crops*, 2011, 31(3): 499-503.
- [16] Xiao Y B, Duan Z Y, Jin H, Hu W L, Chen S H, Wei C F. Spared N response and yields advantage of intercropped wheat and fababean. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(2): 267-271.
- [17] Li W X. Nitrate Accumulation in Soil and Nutrient Acquisition by Intercropped Wheat, Maize and Faba Bean [D]. Beijing: China Agricultural University, 2001.
- [18] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, Shen J L, Han W X, Zhang W F, Christie P, Goulding K W T, Vitousek P M, Zhang F S. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [19] Hauggaard-Nielsen, H, Gooding M, Ambus P, Corre-Hellou G, Crozat Y, Dahmann C, Dibet A, von Fragstein P, Pristeri A, Monti M, Jensen E S. Pea-barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research*, 2009, 113(1): 64-71.
- [20] Li Z X, Wang J W, Yang W T, Shu L, Du Q, Liu L L. Benefit of sweet corn/soybean intercropping in Guangdong Province. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(3): 627-631.
- [21] Bedoussac L, Justes E. Dynamic analysis of competition and complementarity for light and N use to understand the yield and the protein content of a durum wheat-winter pea intercrop. *Plant and Soil*, 2010, 330(1/2): 37-54.

参考文献:

- [1] 赵洪祥, 边少锋, 孙宁, 蔡红梅, 杨洪亮, 邱菊, 韩喜国, 管俊, 苑景平. 氮肥运筹对玉米氮素动态变化和氮肥利用的影响. *玉米科学*, 2012, 20(3): 122-129.
- [3] 李娟, 彭金灵, 康娟, 林位夫, 周立军. 氮肥减施的研究现状和展望. *湖南农业科学*, 2012, (12): 23-24.
- [4] 赵士诚, 裴雪霞, 何萍, 张秀芝, 李科江, 周卫, 梁国庆, 金继运. 氮肥减量后对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(2): 492-497.
- [6] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 崔振岭, 马文奇, 陈新平, 江荣风. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. *土壤学报*, 2008, 45(5): 915-924.
- [7] 郭丽琢, 张虎天, 何亚慧, 柴强, 黄高宝. 根瘤菌接种对豌豆/玉米间作系统作物生长及氮素营养的影响. *草业学报*, 2012, 21(1): 43-49.
- [12] 叶优良, 李隆, 孙建好, 张福锁. 地下部分隔对蚕豆/玉米间作氮素吸收和土壤硝态氮残留影响. *水土保持学报*, 2005, 19(3): 13-16.
- [13] 李玉英, 孙建好, 余常兵, 程序, 张福锁, 李隆. 施氮量和蚕豆/玉米间作对土壤无机氮时空分布的影响. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(4): 815-823.
- [14] 李秋祝, 余常兵, 胡汉升, 孙建好, 陈伟, 李隆. 不同竞争强度间作体系氮素利用和土壤剖面无机氮分布差异. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(4): 777-785.
- [15] 肖靖秀, 汤利, 郑毅, 董艳. 大麦/蚕豆间作条件下供氮水平对作物产量和大麦氮吸收累积的影响. *麦类作物学报*, 2011, 31(3): 499-503.
- [16] 肖焱波, 段宗颜, 金航, 胡万里, 陈拾华, 魏朝富. 小麦/蚕豆间作体系中的氮节约效应及产量优势. *植物营养与肥料学报*, 2007, 13(2): 267-271.
- [17] 李文学. 小麦/玉米/蚕豆间作系统中氮、磷吸收利用特点及其环境效应 [D]. 北京: 中国农业大学, 2001.
- [20] 李志贤, 王建武, 杨文亨, 舒磊, 杜清, 刘丽玲. 广东省甜玉米/大豆间作模式的效益分析. *中国生态农业学报*, 2010, 18(3): 627-631.