



灌水次数与施氮量互作对胡麻/玉米带田 作物生长与产量的影响

王晓娟¹, 卢旭², 何海军¹

(1. 甘肃省农业科学院 作物研究所, 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学 生命科学技术学院, 兰州 730070)

摘 要 旨在研究甘肃白银地区 9 种不同水氮配比胡麻/玉米带田叶面积指数、干物质质量和产量。结果表明,在整个生育期内,随着灌水次数和施氮量的增加,胡麻/玉米带田叶面积指数均表现“抛物线”的变化动态,胡麻/玉米带田干物质质量均呈现“直线”上升的变化动态。灌溉次数和施氮量对胡麻玉米叶面积指数和干物质质量有显著影响,氮肥效应大于水分效应。通过胡麻/玉米带田产量构成因素的主成分分析可知,所有胡麻产量构成因素对 9 个处理下胡麻产量影响为:出籽率>千粒质量>单株粒质量>单株蒴果数>分枝数>蒴果种子粒数>株高>分茎数,所有玉米产量构成因素对 9 个处理下玉米产量的影响为:株高>穗粗>穗长>穗行数>行粒数>百粒质量>秃尖长>出籽率。由胡麻/玉米带田产量及经济效益分析可知,适宜甘肃白银的胡麻/玉米带田灌水量和施氮量模式分别是 T8-二次灌水三水平施氮量[快速生长期和盛花期各浇一次水(W2)/氮肥 240 kg/hm²(N3)]和 T6-三次灌水二水平施氮量[快速生长期、盛花期和青果期各浇一次水(W3)/氮肥 180 kg/hm²(N2)]。

关键词 胡麻/玉米带田;灌水量;施氮量;叶面积指数;干物质质量;产量要素

中图分类号 S513;S565.9

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2018)08-1127-10

胡麻(*Linum usitatissimum* L.)和玉米(*Zea mays* L.)是中国重要的粮食经济作物,在农业生产和经济发展中发挥着重要作用^[1-2]。胡麻作为北方地区重要的油料和经济作物,在甘肃省种植面积约 1.8×10^5 hm²,年产量约 1.4×10^7 t^[3]。玉米成为中国第一大粮食作物,甘肃省种植面积占 1.01×10^6 hm²,年产量约 5.66×10^6 t^[4]。近年来,为了提高农作物产量,促进农业发展,带田种植技术被广泛应用。与传统套种和间作相比,带状种植具有更好的增产效果。孙辉等^[5]研究报道,带状种植既可以保持水土,又可以实现养分循环,达到不施或少施化肥的目的,杨思存等^[6]研究发现,带田种植系统有利于提高两种作物的产量,是经济效益较高的种植模式。胡麻/玉米带田是中国西北沿黄灌区主要的种植模式之一^[7],刘春芳等^[8]早在 1999 年就在宁夏地区做了胡麻套种

玉米优化带行研究。带田种植系统有利于农作物的增产,水分和肥料在植物生长过程中也是不可或缺的。迄今为止,有关水肥对胡麻和玉米产量的影响已有报道^[9-10],但水氮互作对胡麻/玉米带田产量影响的研究报道较少。鉴于此,本试验以胡麻/玉米带田种植模式为主,研究不同水氮配比对胡麻/玉米带田产量的影响,以期对胡麻/玉米带田的高产高效栽培提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

于 2015 年将试验设置于甘肃省白银市农科所靖远河靖坪试验场,海拔 1 570 m,≥10 ℃有效积温 3 100 ℃,无霜期 150 d 左右。试验地土壤养分如表 1 所示。

收稿日期:2018-01-23 修回日期:2018-04-06

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0100103-19);甘肃省科技重大专项(1602NKDF021);甘肃省科技重大专项(17ZD2NA016)。

第一作者:王晓娟,女,副研究员,主要从事玉米育种工作。E-mail:wangxj839@sina.com

通信作者:何海军,男,研究员,主要从事玉米育种工作。E-mail:hhjun007@sina.com

表 1 土壤养分
Table 1 Soil nutrient

全氮/(g/kg) Total nitrogen	全磷/(g/kg) Total phosphorus	全钾/(g/kg) Total potassium	速效氮/(mg/kg) Available nitrogen	速效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Available potassium	有机质/(g/kg) Organic matter	pH
0.081	0.601	2.62	90.3	24.88	90.4	5.648	7.83

1.2 试验材料

胡麻品种采用‘陇亚杂 1 号’,玉米品种采用‘陇单 10 号’。

1.3 试验设计

试验采用的胡麻玉米的带田结构为带宽 160 cm,其中胡麻种 6 行,占 100 cm,行距 20 cm;玉米种 2 行,行距 30 cm,间距 15 cm。二因素随机区组设计,设胡麻不同灌水次数(每次每 hm² 浇

水 80 m³)和施氮量 2 个因素:灌水次数分快速生长期浇一次水(W1)、快速生长期和盛花期各浇一次水(W2)、快速生长期、盛花期和青果期各浇一次水(W3)共 3 个水平;施肥量分 3 个水平,总量分别为 120 kg/hm² (N1)、180 kg/hm² (N2)和 240 kg/hm² (N3),均分基肥(2/3)和快速生长期追肥(1/3)两次施入。快速生长期的施肥结合灌水进行。共设 9 个处理,如表 2 所示。

表 2 试验处理设计
Table 2 Experimental treatment design

处理 Treatment	组合 Group
T1	W1N1 快速生长期浇一次水,氮肥 120 kg/hm ² W1N1 water once at rapid growth period,nitrogenous fertilizer 120 kg/hm ²
T2	W2N1 快速生长期和盛花期各浇一次水,氮肥 120 kg/hm ² W2N1 water once at rapid growth and flowering period respectively,nitrogenous fertilizer 120 kg/hm ²
T3	W3N1 快速生长期、盛花期和青果期各浇一次水,氮肥 120 kg/hm ² W3N1 water once at rapid growth,flowering and green fruit period respectively,nitrogenous fertilizer 120 kg/hm ²
T4	W1N2 快速生长期浇一次水,氮肥 180 kg/hm ² W1N2 water once at rapid growth period, nitrogenous fertilizer 180 kg/hm ²
T5	W2N2 快速生长期和盛花期各浇一次水,氮肥 180 kg/hm ² W2N2 water once at rapid growth and flowering period respectively,nitrogenous fertilizer 180 kg/hm ²
T6	W3N2 快速生长期、盛花期和青果期各浇一次水,氮肥 180 kg/hm ² W3N2 water once at rapid growth,flowering and green fruit period respectively,nitrogenous fertilizer 180 kg/hm ²
T7	W1N3 快速生长期浇一次水,氮肥 240 kg/hm ² W1N3 water once at rapid growth period, nitrogenous fertilizer 240 kg/hm ²
T8	W2N3 快速生长期和盛花期各浇一次水,氮肥 240 kg/hm ² W2N3 water once at rapid growth and flowering period respectively,nitrogenous fertilizer 240 kg/hm ²
T9	W3N3 快速生长期、盛花期和青果期各浇一次水,氮肥 240 kg/hm ² W3N3 water once at rapid growth,flowering and green fruit period respectively,nitrogenous fertilizer 240 kg/hm ²

各小区磷、钾肥的施用量均为 P₂O₅ 112.5 kg/hm²、K₂O 52.5 kg/hm²。磷、钾肥品种分别为二铵和硫酸钾,均作为基肥施用。设 3 次重复,每小区 3 个带,小区长 5 m,小区四周打 30 cm 埂间隔。在玉米的抽雄期结合第 3 次浇水追肥尿素 300 kg/hm²,试验四周设保护区 1 m。

1.4 测定项目及方法

参考白岗栓等^[11]的方法播前测定土壤 30 cm 土层的基本理化性状:有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾、pH;3 月 31 日播种胡麻,4 月 20 日出苗;5 月 9 日播种玉米,6 月 5 日出苗。5 月 25 日浇第一水,同时追施 3 个水平施氮量的 1/3 尿素,6 月 30 日灌第二水,7 月 20 日灌第三水。胡麻于 7 月 27 日收获,玉米 10 月 8

日收获。胡麻、玉米出苗后调查基本苗,依照《农业气象观测规范》^[12]测定保苗率;胡麻收获前调查总茎数;记录各处理胡麻和玉米的生育时期;胡麻、玉米出苗后,每隔 15 d 取一次样(包括根系),每小区胡麻取样 10~30 株,每小区玉米取样 5 株,采用烘干法^[13]测定干物质量,HemiView 数字植物冠层分析仪测定叶面积指数^[14]。收获时按小区实收面积计产。每小区取胡麻植株样品 20 株,在室内考种,参考李玥等^[2]测定包括株高、分茎数、分枝数、单株蒴果数、蒴果大小、蒴果种子粒数、单株粒数、单株粒质量、千粒质量、出籽率、籽粒产量等考种项目。每小区取玉米植株样品 10 株,参考杨蕊菊等^[10]测定包括果穗长度、穗粗、穗行数、每穗粒数、穗质量、穗粒质量、秃顶率、出

籽率、百粒质量、籽粒产量等考种项目。

1.5 数据统计与分析

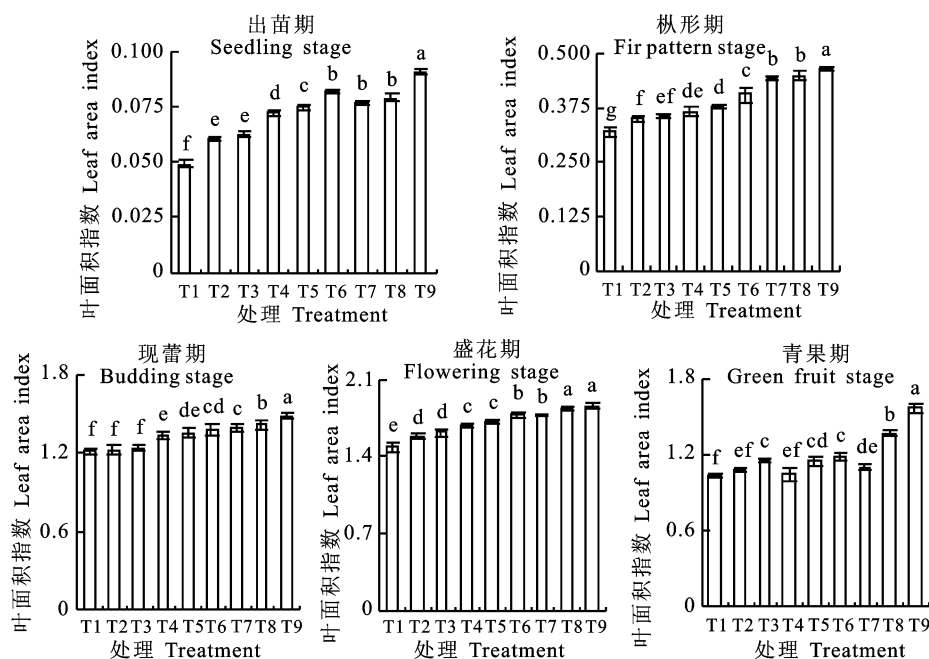
用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计、方差分析 (LSD 法)、主成分分析和作图。

2 结果与分析

2.1 胡麻/玉米带田叶面积指数变化动态分析

2.1.1 胡麻的叶面积 从图 1 看出,在整个生育期,胡麻叶面积指数表现出先上升后下降的趋势,从出苗期到盛花期胡麻叶面积上升,青果期下降;

不同生育期,胡麻叶面积指数变化明显。每个时期,随着灌水次数和氮肥的增加,胡麻叶面积指数都有不同程度升高,各时期 T1 处理下胡麻叶面积指数最小,T9 处理下最大,T1 和 T9 间差异显著 ($P < 0.05$)。在同一施氮处理下,胡麻叶面积指数随着灌水次数的增多而升高;在同一灌水处理下,胡麻叶面积指数随着施氮量的增加而升高。在盛花期 9 个处理胡麻叶面积指数均达到最大值,T9 (1.86) 处理胡麻叶面积指数最大,其次是 T8 (1.84)、T6 (1.78) 和 T7 (1.78)。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),下同 Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$), the same below

图 1 不同时期胡麻/玉米带田中胡麻的叶面积指数变化

Fig. 1 Changes of leaf area index of flax in flax/maize intercropping in the different stage

2.1.2 玉米的叶面积 如图 2 所示,在整个生育期内,玉米叶面积指数呈先上升后下降的趋势,拔节期到灌浆期上升,蜡熟期下降;不同生育期,玉米叶面积指数变化明显。每个时期,随着灌水次数和氮肥的增加,玉米叶面积指数都有不同程度升高,各时期 T1 处理下玉米叶面积指数最小,T9 处理下最大,T1 和 T9 差异性显著 ($P < 0.05$)。在同一施氮处理下,玉米叶面积指数随着灌水次数的增多而升高;在同一灌水处理下,玉米叶面积指数随着施氮量的增加而升高,在灌浆期,9 个处理玉米叶面积指数均达到最大值,T9 处理玉米叶面积指数 (4.423) 最大,其次是 T6 (4.345) 和 T8 (4.336),3 个处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.2 胡麻/玉米带田的干物质质量变化动态分析

2.2.1 胡麻的干物质质量 从图 3 看出,在整个生育期,胡麻干物质质量随着水肥的增加呈上升趋势。从出苗期—盛花期,胡麻干物质质量均是在 T1 处理下最少,T9 处理下最多,T1 和 T9 间差异显著 ($P < 0.05$)。青果期,各处理胡麻干物质质量均达最大值,T8 处理 ($14.2 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$) 的胡麻干物质质量最大,其次是 T5 ($13.2 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$) 和 T9 ($13.1 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$),T1 ($8.9 \times 10^3 \text{ kg/hm}^2$) 胡麻干物质质量最小,各处理差异显著 ($P < 0.05$)。盛花期,同一氮肥处理下,随着灌水次数的增多,胡麻叶面积显著上升。

2.2.2 玉米的干物质质量 从图 4 看出,整个生长期,玉米干物质质量随着水肥的增加呈上升趋势。每个时期,随着灌水次数和氮肥的增加,玉米

干物质质量都有不同程度升高,各时期 T1 处理下玉米干物质质量最小,T9 处理下最大,T1 和 T9 差异显著($P<0.05$)。在蜡熟期,各处理玉米干物质质量达最大值,T9 处理($34.2\times 10^3\text{ kg/hm}^2$)最

大,其次是 T6 ($33.6\times 10^3\text{ kg/hm}^2$) 和 T8 ($33.2\times 10^3\text{ kg/hm}^2$),3 个处理间差异不显著($P>0.05$)。

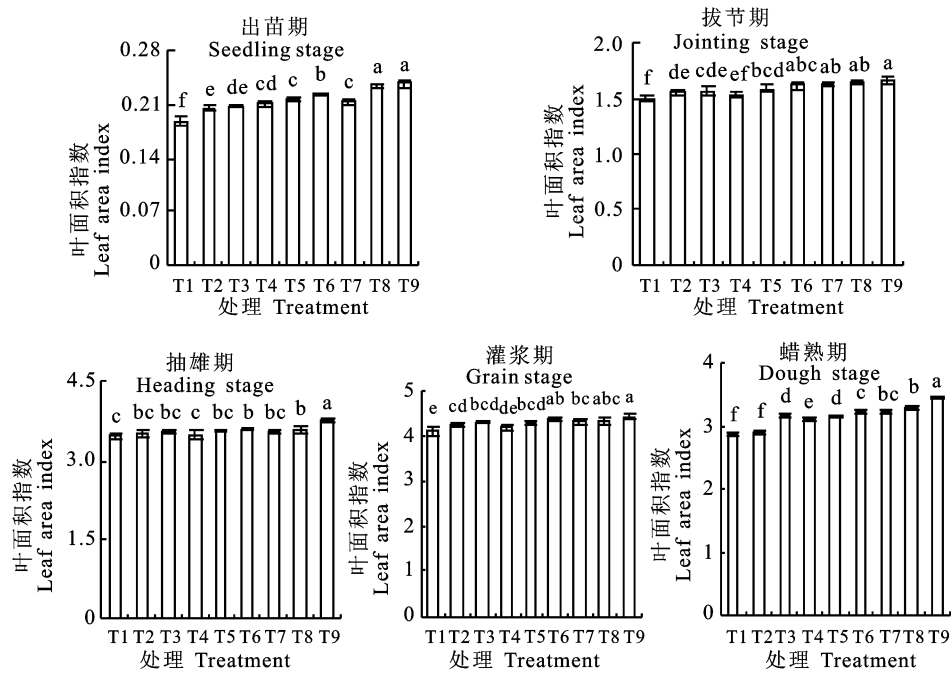


图 2 不同时期胡麻/玉米带田中玉米的叶面积指数变化

Fig. 2 Changes of leaf area index of maize in flax/maize intercropping in the different stage

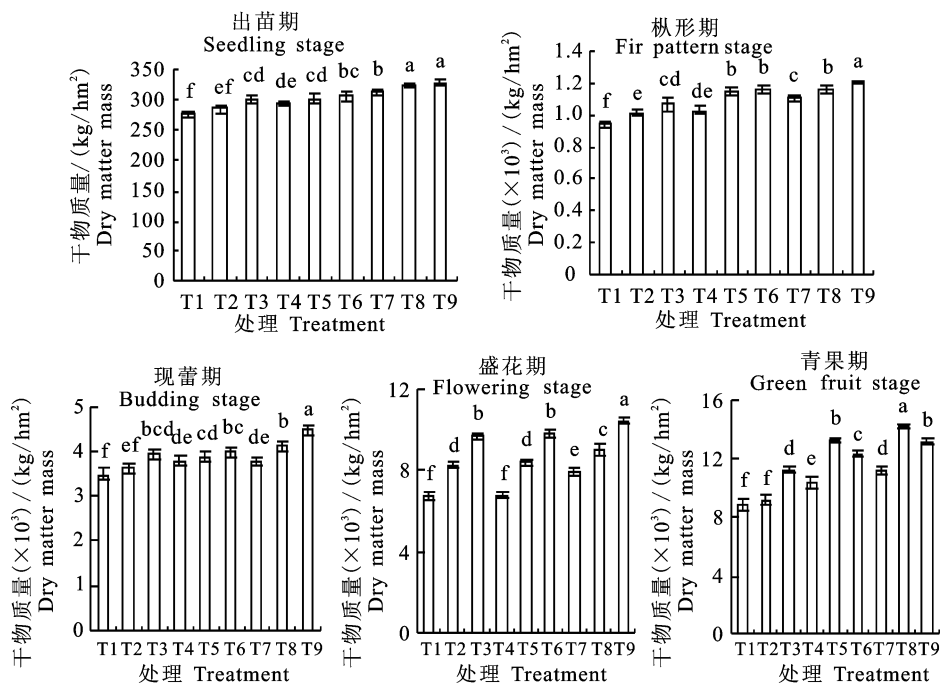


图 3 不同时期胡麻/玉米带田中胡麻的干物质质量变化

Fig. 3 Changes of dry matter mass of flax in flax/maize intercropping in the different stage

2.3 胡麻/玉米带田产量构成因素主成分分析

2.3.1 胡麻产量构成因素 利用 SPSS 19.0 对

表 3 中胡麻的产量要素进行主成分分析,结果如表 4 所示。

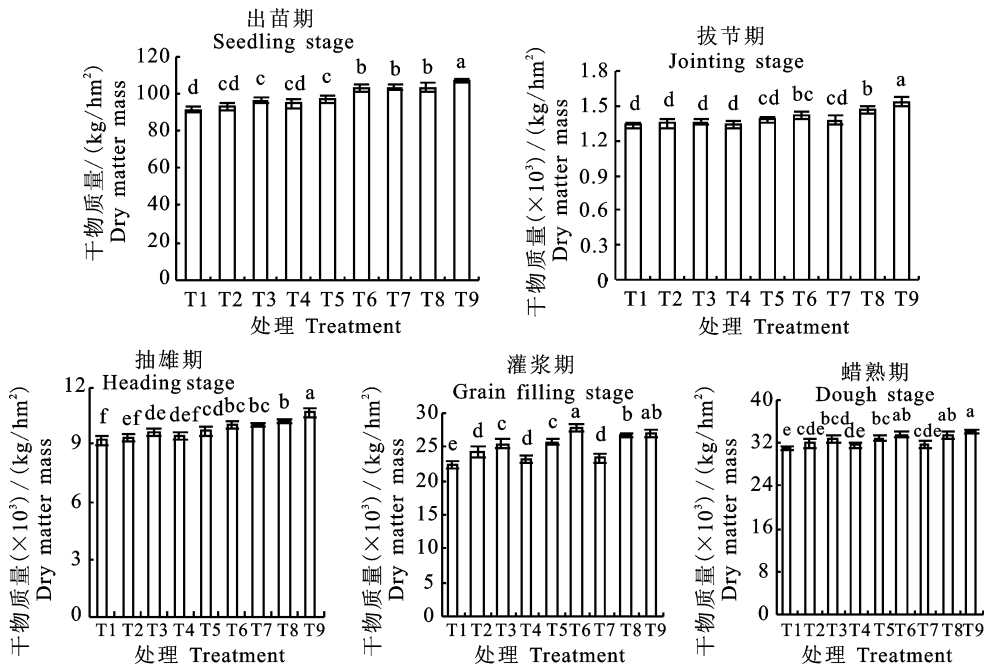


图 4 不同时期胡麻/玉米带田中玉米的干物质量变化
Fig. 4 Changes of dry matter mass of maize in flax/maize intercropping in the different stage

表 3 胡麻/玉米带田胡麻产量及产量要素($\bar{x} \pm s_x$)											
Table 3 Yield and its components of flax in flax/maize intercropping											
处理 Treatment	组合 Group	株高/cm Plant height	分茎数 Stems number	分枝数 Branch number	单株蒴果数 Number of plant capsule	蒴果种子粒数 Capsule seed number	单株粒质量/g Grain mass per plant	千粒质量/g 1 000-grain mass	出籽率/% Seed rate	产量/ (kg/hm ²) Yield	
T1	W1N1	72.34±0.05	1.03±0.02	5.47±0.02	31.47±0.15	8.17±0.05	2.03±0.05	7.30±0.07	98.23±0.05	1 047.80±0.60	
T2	W2N1	78.29±0.11	1.10±0.03	5.40±0.03	34.80±0.06	7.70±0.07	2.13±0.05	7.43±0.05	96.90±0.03	1 078.05±0.75	
T3	W3N1	80.33±0.11	1.03±0.02	5.53±0.02	37.63±0.02	7.40±0.03	2.07±0.04	7.70±0.07	97.77±0.05	1 591.77±0.84	
T4	W1N2	76.73±0.07	1.10±0.03	5.47±0.03	28.43±0.12	8.00±0.03	1.63±0.07	7.20±0.07	95.77±0.02	1 717.14±0.47	
T5	W2N2	78.31±0.08	1.03±0.02	5.43±0.04	33.53±0.05	7.50±0.09	1.83±0.05	7.50±0.07	98.03±0.02	1 858.80±0.48	
T6	W3N2	80.16±0.06	1.17±0.05	5.53±0.02	35.67±0.07	7.60±0.07	2.10±0.06	7.57±0.07	95.57±0.07	1 826.86±0.63	
T7	W1N3	78.12±0.06	1.07±0.04	5.93±0.13	30.17±0.07	8.00±0.07	1.47±0.05	6.83±0.05	94.37±0.05	1 573.60±0.37	
T8	W2N3	81.48±0.07	1.03±0.02	5.17±0.05	30.40±0.18	7.67±0.05	1.47±0.05	7.03±0.02	95.67±0.05	1 788.61±0.37	
T9	W3N3	86.40±0.10	1.07±0.04	6.13±0.05	26.37±0.41	7.37±0.05	1.50±0.07	6.67±0.07	93.50±0.09	1 183.65±0.74	

表 4 方差分解主成分提取分析							
Table 4 Variance decomposition main component extraction analysis table							
成分 Component	初始特征值 Initial eigenvalue			提取平方和载入 Extraction sums of squared loading			
	合计 Total	方差/%Variance	累计/% Cumulative	合计 Total	方差/%Variance	累计/% Cumulative	
1	3.978	49.728	49.728	3.978	49.728	49.728	
2	1.893	23.664	73.392	1.893	23.664	73.392	
3	1.247	15.593	88.985	1.247	15.593	88.985	
4	0.514	6.421	95.406				
5	0.203	2.543	97.949				
6	0.104	1.297	99.246				
7	0.060	0.754	100.000				
8	0	0	100				

主成分个数提取原则为主成分对应的特征值大于 1 的前 m 个主成分^[15]。通过表 4 可知,提取特征根大于 1 的主成分,提取到前 3 个主成分,第一主成分、第二主成分和第三主成分的方差

贡献率分别为 49.728%、23.664%、15.593%,前 3 项主成分贡献率累计达到 88.985%。选取 3 个主成分来反映胡麻产量要素在各主成分上的有效载荷,结果如表 5 所示。

表 5 主成分分析成分矩阵

Table 5 Principal component analysis component matrix

产量要素	Yield factor	成分 1	Component 1	成分 2	Component 2	成分 3	Component 3
株高	Plant height	0.624		0.711		-0.280	
分茎数	Stems number	0.303		0.388		0.840	
分枝数	Branch number	0.748		0.116		0.253	
单株蒴果数	Number of plant capsule	-0.820		0.465		0.033	
蒴果种子粒数	Capsule seed number	-0.089		-0.890		0.425	
单株粒质量	Grain mass per plant	-0.836		0.353		0.262	
千粒质量	1 000-grain mass	-0.844		0.248		0.275	
出籽率	Unfilled grain rate	0.920		0.173		0.269	

由表 5 可知出籽率、千粒质量、单株粒质量、单株蒴果数、株高、分枝数在第一主成分有较高成分,表明这 6 个产量要素的变化对产量的影响起重要作用;蒴果种子粒数和株高在第二主成分中有较高成分,表明这 2 个产量要素的变化对产量的影响较大;分茎数在第三主成分中有较高成分,表明分茎数的变化对产量的影响较大,综合以上

数据,9 个处理中,所有产量构成因素对胡麻产量的影响大小表现为:出籽率>千粒质量>单株粒质量>单株蒴果数>分枝数>蒴果种子粒数>株高>分茎数。

2.3.2 玉米产量构成因素主成分分析 利用 SPSS 19.0 对上表中玉米的产量要素(表 6)进行主成分分析,结果如表 7 所示。

表 6 胡麻/玉米带田玉米产量及产量要素($\bar{x} \pm s_x$)

Table 6 Yields and its components of maize in flax/maize intercropping

处理	组合	株高/cm	穗长/cm	秃尖长/cm	穗粗/cm	穗行数	行粒数	千粒重/g	出籽率/%	产量/
Treatment	Group	Plant height	Ear length	Bare tip length	Ear width	Rows per ear	Kernels per ear	1 000-grain weight	Seed rate	(kg/hm ²) Yield
T1	W1N1	225.92±0.25	19.38±0.11	1.00±0.02	4.53±0.05	13.33±0.19	33.33±0.19	39.50±0.03	82.80±0.23	7 039.30±0.91
T2	W2N1	241.05±0.67	20.28±0.03	1.53±0.02	4.83±0.05	14.67±0.19	36.33±0.19	37.63±0.05	81.60±0.10	9 418.60±0.53
T3	W3N1	250.67±0.48	20.93±0.02	1.00±0.02	5.07±0.04	15.00±0.19	36.33±0.19	42.55±0.04	82.53±0.08	9 917.04±0.15
T4	W1N2	231.05±0.23	21.04±0.06	1.73±0.04	5.00±0.02	13.67±0.19	40.33±0.19	37.26±0.04	82.25±0.07	7 291.38±0.37
T5	W2N2	243.87±0.65	22.54±0.22	1.53±0.02	5.17±0.02	15.33±0.19	36.63±0.08	38.13±0.07	83.73±0.21	7 874.69±0.42
T6	W3N2	250.46±0.22	20.40±0.02	1.43±0.02	5.37±0.02	16.33±0.19	38.50±0.17	40.53±0.08	82.57±0.13	10 959.37±0.22
T7	W1N3	239.65±0.36	20.55±0.13	2.17±0.04	5.00±0.04	15.33±0.19	33.67±0.19	34.60±0.09	81.53±0.08	9 334.62±0.38
T8	W2N3	254.95±0.41	22.21±0.06	1.77±0.02	5.27±0.02	14.00±0.33	38.67±0.19	36.20±0.07	81.90±0.03	10 794.12±0.57
T9	W3N3	267.36±0.38	24.00±0.10	1.73±0.02	5.00±0.02	15.67±0.19	38.33±0.19	37.00±0.19	82.22±0.06	11 502.35±0.51

表 7 方差分解主成分提取分析表

Table 7 Variance decomposition main component extraction analysis table

成分	初始特征值			提取平方和载入		
	合计 Total	方差/% Variance	累计/% Cumulative	合计 Total	方差/% Variance	累计/% Cumulative
1	3.449	43.107	43.107	3.449	43.107	43.107
2	2.097	26.217	69.324	2.097	26.217	69.324
3	0.854	10.677	80.001			
4	0.810	10.131	90.131			
5	0.516	6.444	96.576			
6	0.241	3.018	99.594			
7	0.031	0.384	99.978			
8	0.002	0.022	100			

通过表 7 可知，提取特征根大于 1 的主成分，提取到前 2 个主成分，第一主成分和第二主成分的方差贡献率分别为 43.107%、26.217%，前两项主成分贡献率累计达到 69.324%。选取两个主成分来反映玉米产量要素在各主成分上的有效载荷，结果如表 8 所示。

由表 8 可知株高、穗粗、穗长、穗行数、行粒数在第一主成分有较高成分，表明这 5 个产量要素的变化对产量的影响起重要作用；百粒质量和出籽率在第二主成分中有较高成分，表明这 2 个产量要素的变化对产量的影响较大，综合以上数据，9 个处理中，所有产量构成因素对玉米产量的影响大小表现为：株高>穗粗>穗长>穗行数>行粒数>百粒质量>秃尖长>出籽率。

2.4 胡麻/玉米带田产量及经济效益分析

从表 9 来看，各处理胡麻产量、玉米产量、胡麻/玉米带田总产量、胡麻产值、玉米产值和胡麻/玉米带田总产值差异显著 ($P < 0.05$)，T5 (1 858.80 kg/hm²)、T6(1 826.86 kg/hm²)和 T8

(1 788.61 kg/hm²)的胡麻产量居 9 个处理的前三位，T9(11 502.35 kg/hm²)、T6(1 826.86 kg/hm²)和 T8(1 788.61 kg/hm²)的玉米产量居 9 个处理的前三位。T6(31 352.46 元/hm²)和 T8(31 474.19 元/hm²)胡麻/玉米带田总产值居 9 个处理的前二位。

表 8 主成分分析成分矩阵

Table 8 Principal component analysis component matrix

产量要素 Yield factor		成分 1 Component 1	成分 2 Component 2
株高	Plant height	0.816	0.317
穗长	Ear length	0.784	0.153
秃尖长	Rare ear length	0.629	-0.728
穗粗	Ear width	0.784	0.257
穗行数	Rows per ear	0.718	0.312
行粒数	Kernels per ear	0.665	0.206
百粒质量	100-grain mass	-0.397	0.857
出籽率	Seed rate	-0.202	0.709

表 9 胡麻/玉米带田产量及经济效益

Table 9 Yields and economic benefits in flax/maize intercropping

处理 Treatment	组合 Group	胡麻产量/ (kg/hm ²) Yield of flax	玉米产量/ (kg/hm ²) Yield of maize	总产量/(kg/hm ²) Yield of flax and maize	胡麻产值/ (元/hm ²) Production value of Flax	玉米产值/ (元/hm ²) Production value of maize	水肥耗费/ (元/hm ²) Consumption of water and fertilizer	总产值/ (元/hm ²) Total value of out-put
T1	W1N1	1 047.80 i	7 039.30 i	8 087.10 i	7 334.62 i	14 078.60 i	1 914.30	19 498.93 i
T2	W2N1	1 078.05 h	9 418.60 e	10 496.65 f	7 546.38 h	18 837.20 e	2 634.30	23 749.29 h
T3	W3N1	1 591.77 e	9 917.04 d	11 508.81 d	11 142.40 e	19 834.09 d	3 354.30	27 622.19 d
T4	W1N2	1 717.14 d	7 291.38 h	9 008.52 h	12 020.01 d	14 582.77 h	1 914.30	24 688.48 g
T5	W2N2	1 858.80 a	7 874.69 g	9 733.49 g	13 011.58 a	15 749.37 g	2 634.30	26 126.65 f
T6	W3N2	1 826.86 b	10 959.37 b	12 786.23 a	12 788.01 b	21 918.74 b	3 354.30	31 352.46 a
T7	W1N3	1 573.60 f	9 334.62 f	10 908.22 e	11 015.21 f	18 669.24 f	1 914.30	27 770.15 e
T8	W2N3	1 788.61 c	10 794.12 c	12 582.73 c	12 520.24 c	21 588.25 c	2 634.30	31 474.19 b
T9	W3N3	1 183.65 g	11 502.35 a	12 686.00 b	8 285.54 g	23 004.70 a	3 354.30	27 935.94 c

注：同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$).

3 讨论

3.1 不同处理对胡麻/玉米带田叶面积指数的影响

叶面积是植物截获光能的物质载体，合理的叶面积指数是反映作物群体光合能力的重要指标^[16]。适宜的叶面积指数能够保证光热资源的有效利用，可以避免作物植株、叶片间的相互遮蔽，创造一个通风透光性良好的群体环境，有利于

光合作用的进行和有机物的合成，进而获得高产^[17-18]，在整个生育期，9 个处理下胡麻/玉米带田胡麻组和玉米组的叶面积指数均呈现“单峰”曲线的变化动态，这与王强等^[19]、张守林等^[20]研究结论一致。本试验中，每个时期胡麻叶面积指数和玉米叶面积指数都是在 T1(W1N1)处理下最小，T9(W3N3)处理下最大，T9(W1N1)和 T1(W3N3)相比灌水次数增加了 2 次、施肥量增加了 120 kg/hm²，比较 T1 和 T9 各时期胡麻叶面

积指数上升幅度可得知:出苗期(80%)>青果期(54%)>枳形期(47%)>盛花期(26%)>现蕾期(22%);比较 T1 和 T9 各时期玉米叶面积指数上升幅度可得知出苗期(25%)>蜡熟期(22%)>拔节期(10%)>抽雄期(8%)、灌浆期(8%)。这说明在出苗期和青果期增加水肥能显著提高胡麻的叶面积指数。

3.2 不同处理对胡麻/玉米带田干物质质量的影响

刘伟等^[21]研究认为,干物质质量在一定范围内与产量呈显著正相关,籽粒产量随干物质质量的增加而增加,即干物质质量越多,籽粒产量也就越高。在整个生育期,9 个处理胡麻/玉米带田的干物质质量均表现出“直线”上升的变化趋势。

在青果期 9 个处理胡麻干物质质量均达到最高峰,这和闫志利等^[22]研究结果一致。崔红艳等^[9]研究水氮互作对胡麻干物质质量及产量的影响时发现,胡麻的干物质质量随着水肥的增多而增加,且氮肥的效应强于水的效应。本试验研究结果表明,胡麻干物质质量随灌水次数和施氮量的增加而增加,施氮的效果强于灌水,这和崔红艳等^[9]研究结论不尽一致,这可能与胡麻品种有关。在生育后期-青果期 T5(13.2×10^3 kg/hm²)>T6(12.2×10^3 kg/hm²),T8(14.2×10^3 kg/hm²)>T9(13.2×10^3 kg/hm²),这或许是水肥充足易造成胡麻倒伏,从而导致胡麻干物质质量下降。

李文娟等^[23]研究表明增施氮肥对胡麻干物质质量和产量的提高起着重要作用。孙文涛等^[1]研究滴灌施肥条件下玉米水、氮及磷的耦合效应时发现影响玉米产量的主要因素是氮素,其次是灌水和磷素。本试验研究发现玉米干物质质量随着灌水次数和施氮量的增加而增多,氮肥效应强于水分效应。

3.3 胡麻/玉米带田产量因素主成分分析及产量和产值分析

闫志利等^[24]研究认为提高胡麻百粒质量和单株蒴果有利于提高胡麻产量。李玥等^[2]研究胡麻产量形成模拟模型发现单株蒴果数、蒴果种子粒数、千粒质量、单株粒质量对胡麻产量有着显著影响。本试验研究发现,9 个处理,所有产量构成因素对胡麻产量的影响大小表现为:出籽率>千粒质量>单株粒质量>单株蒴果数>分枝数>蒴果种子粒数>株高>分茎数。

杨蕊菊等^[10]研究发现施水量和施氮量与小麦/玉米带田间作玉米产量构成因素:株高、穗粒

数、千粒质量、穗粒质量均呈显著正相关。本试验研究发现,9 个处理中,所有产量构成因素对玉米产量的影响大小表现为:株高>穗粗>穗长>穗行数>行粒数>百粒质量>秃尖长>出籽率。

本研究中,胡麻在处理 T5(W2N2)、T6(W3N2)、T8(W2N3)中每 hm² 产量和产值最高,居 9 个处理的前三位,玉米在处理 T9(W3N3)、T6(W3N2)和 T8(W2N3)的每 hm² 产量及产值最高,居 9 个处理的前三位。处理 T6(W3N2)和 T8(W2N3)的胡麻/玉米带田总产值最高。

4 结 论

通过对不同灌水和施氮量处理的胡麻/玉米带田的叶面积指数、干物质质量、产量要素、产量和经济效益的系统研究,总结出适宜甘肃白银的胡麻/玉米带田灌水量和施氮量模式,T8-二次灌水三水平施氮量和 T6-三次灌水二水平施氮量。这 2 种模式的胡麻/玉米带田自我调节能力较强,能够将二者的优势充分发挥出来,将共生期间竞争造成的影响降到最低。这 2 个模式的胡麻/玉米带田每 hm² 总产值分别为 T6(31 352.46 元/hm²)、T8(31 474.19 元/hm²),经济效益显著,居 9 个处理的前二位。在耕地资源日益短缺的形势下,因地制宜地种植带田,合理灌水施肥,充分利用当地的光热自然资源,能够大大提高土地的利用率,对增加农民的粮食和收入具有重要作用。

参考文献 Reference:

- [1] 孙文涛,孙占祥,王聪翔,等.滴灌施肥条件下玉米水肥耦合效应的研究[J].中国农业科学,2006,39(3):563-568.
SUN W T,SUN ZH X,WANG C X,*et al.* Coupling effect of water and fertilizer on corn yield under drip fertigation [J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2006,39(3):563-568.
- [2] 李玥,吴兵,刘栋,等.胡麻产量形成模拟模型研究[J].中国生态农业学报,2016,24(9):1246-1253.
LI Y,WU B,LIU D,*et al.* Simulation model for yield formation of oilseed flax based on APSIM[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*,2016,24(9):1246-1253.
- [3] 蒲金涌,邓振塘,姚小英,等.甘肃省胡麻生态气候分析及种植区划[J].中国油料作物学报,2004,26(3):37-42.
PU J Y,DENG ZH Y,Y X Y,*et al.* Ecological climate analysis and planting regionalization in Gansu province[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*,2004,26(3):37-42.
- [4] 郭成,徐生军,金社林.2015 年甘肃玉米病虫害发生情况调查报告[J].甘肃农业科技,2016(4):1-3.
GUO CH,XU SH J,JIN SH L. Investigation report on the

- occurrence of corn diseases and pests in Gansu in 2015[J]. *Gansu Agricultural Science and Technology*, 2016(4): 1-3.
- [5] 孙 辉, 唐 亚, 赵其国. 带状种植系统养分供给与利用研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2001, 9(2): 85-87.
- SUN H, TANG Y, ZHAO Q G. Review of research on nutrient contribution and recovery in alley cropping systems [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(2): 85-87.
- [6] 杨思存, 王建成, 霍 琳, 等. 兴电灌区主要带田系统生产力研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 169-175.
- YANG S C, WANG J CH, HUO L, *et al.* Productivity of major strip farmland systems in the Xingdian irrigation zone [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2005, 23(2): 169-175.
- [7] 张恩和. 甘肃引黄灌区高效立体多熟种植模式及增产机理研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 1992.
- ZHANG E H. Study on the efficient and three-dimensional multi-cropping pattern and the mechanism of stimulation yellow irrigation area in Gansu[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 1992.
- [8] 刘春芳, 李 冬. 宁夏引黄灌区胡麻套种玉米带型优化研究[J]. 中国油料作物学报, 1999, 21(4): 41-44.
- LIU CH F, LI D. Studies on the strip pattern optimization of relay intercropping of flax and maize in the irrigated area of Ningxia [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 1999, 21(4): 41-44.
- [9] 崔红艳, 方子森. 水氮互作对胡麻干物质生产和产量的影响[J]. 西北植物学报, 2016, 36(1): 156-164.
- CUI H Y, FANG Z S. Effect of nitrogen and irrigation interaction on dry matter production and yield of oil flax under different irrigation modes [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2016, 36(1): 156-164.
- [10] 杨蕊菊, 马忠明. 水肥耦合对小麦/玉米带田产量及构成因素的影响[J]. 西北农业学报, 2015, 24(1): 54-59.
- YANG R J, MA ZH M. The effect of water and fertilizer coupling on yield and yield components of intercropped wheat/maize [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2015, 24(1): 54-59.
- [11] 白岗栓, 张占山, 李 志. 仁用杏园不同土层土壤养分含量的测定[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(3): 76-78.
- BAI G SH, ZHANG ZH SH, LI ZH. Measurement of nutrient content in different depths of soil in almond-apricot orchards [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2006, 24(3): 76-78.
- [12] 中国气象局. 农业气象观测规范(上卷)[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 5-35.
- China Meteorological Bureau. Agro-Meteorological Observation Specifications [M]. Beijing: Meteorological Press, 1993: 5-35.
- [13] 陈彦云. 马铃薯贮藏期间干物质、还原糖、淀粉含量的变化[J]. 中国农学通报, 2002, 16(1): 16-18.
- CHEN Y Y. Research of the content change of dry matter, reducing sugar and starch in potato in the storage period [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2002, 16(1): 16-18.
- [14] 李 丹, 赵经华, 洪 明, 等. 干旱区滴灌核桃叶面积指数、截获辐射能对产量的影响[J]. 节水灌溉, 2015(10): 46-49.
- LI D, ZHAO J H, HONG M, *et al.* influence of leaf area index and radiant energy interception on yield of walnut trees under drip irrigation in arid area [J]. *Water Saving Irrigation*, 2015(10): 46-49.
- [15] ZHANG W L. Application of principal component analysis in SPSS [J]. *Theory and Method*, 2005, 12(9): 31-34.
- [16] 张吉旺, 王空军, 胡昌浩, 等. 施氮时期对夏玉米饲用营养价值的影响[J]. 中国农业科学, 2002, 35(11): 1337-1342.
- ZHANG J W, WANG K J, HU CH H, *et al.* Effects of different nitrogen application stages on forage nutritive value of summer maize [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35(11): 1337-1342.
- [17] 毛庆文, 吴桂丽, 阎立波, 等. 不同密度下玉米郑单 958 叶面积及干物质量的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(29): 16171-16174.
- MAO Q W, WU G L, YAN L B, *et al.* Study on leaf area and dry matter accumulation in different density of maize zhengdan 958 [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(29): 16171-16174.
- [18] 王晓梅, 崔 坤, 宋利润. 不同密度与玉米生长发育及品质相关性的研究[J]. 吉林农业科学, 2006, 31(3): 3-6.
- WANF X M, CUI K, SONG L R. Studies on correlation between plant density and growth and quality of maize [J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2006, 31(3): 3-6.
- [19] 王 强, 魏 慧. 不同播期下油菜叶面积指数及干物质量与产量的关系[J]. 作物研究, 2016, 30(1): 4-7.
- WANG Q, GUO H. Relationship between yield and leaf area index and dry matter accumulation of rapeseed under different sowing date [J]. *Crop Research*, 2016, 30(1): 4-7.
- [20] 张守林, 张丞凤. 不同品种夏玉米主要性状与产量相关性分析[J]. 中国农学通报, 2014, 30(27): 15-20.
- ZHANG SH L, ZHANG CH F. Correlations between the main characteristics and yield of different summer maize hybrids [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(27): 15-20.
- [21] 刘 伟, 张吉旺, 吕 鹏, 等. 种植密度对高产夏玉米登海 661 产量及干物质量与分配的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1301-1307.
- LIU W, ZHANG J W, LÜ P, *et al.* Effect boning of plant density on grain yield dry matter accumulation and partidenghai in summer maize cultivar 661 [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2011, 37(7): 1301-1307.
- [22] 闫志利, 郭丽琢, 方子森, 等. 有机肥对胡麻干物质、分配及产量的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 988-995.

- YAN ZH L, GUO L ZH, FANG Z S, *et al.* Effect of different organic manures on oil flax dry matter accumulation, distribution and yield[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(8): 988-995.
- [23] 李文娟, 何 萍, 高 强, 等. 不同氮效率玉米干物质形成及氮素营养特性差异研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 51-57.
- LI W J, HE P, GAO Q, *et al.* Dry matter formation and nitrogen uptake in two maize cultivars differing in nitrogen use efficiency [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(1): 51-57.
- [24] 闫志利, 吴 兵, 党占海, 等. 农田旧膜再利用方式对胡麻生理指标及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(2): 197-202.
- YAN ZH L, WU B, DANG ZH H, *et al.* Effect of treatment patterns of used plastic film in field on oil flax physiological index and yield[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2012, 20(2): 197-202.

Effect of Irrigation Times and Nitrogen on the Yield and Growth of Flax/maize Intercropping

WANG Xiaojuan¹, LU Xu² and HE Haijun¹

(1. The Crop Institute, Gansu Academy of Agricultural Science, Lanzhou 730070, China; 2. College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract In this paper, leaf area index, dry matter mass and yields in flax/maize intercropping under nine different ratios of irrigation and nitrogen treatments was studied in Baiyin area of Gansu province. These results showed that, with the increase of irrigation times and nitrogen, all nine treatments exhibited a parabola dynamic change for the leaf area index and a straight climb dynamic change for dry matter mass, respectively. The irrigation times and nitrogen fertilizer had a significant effect on the leaf area index and dry matter mass of flax/maize intercropping, and nitrogen fertilization had higher effect than irrigation times. The principal component analysis showed that, the impact of all the yield factors of flax on flax yield under the 9 treatments was following: unfilled grain percentage > 100-grain mass > grain mass per plant > number of plant capsule > branch number > capsule seed grain number > plant height > stem number, about maize was following: plant height > ear width > ear length > ear row number > grain number per row > 100-grain mass > bare tip length > seed rate. T8 [water one time separately in the rapid growth and flowering (W2)/240 kg nitrogen fertilizer/hectare (N3)] and T6 [Water one time separately in the rapid growth stage, flowering and fruit period (W3)/180 kg nitrogen fertilizer/hectare (N2)] of flax/maize intercropping irrigation and nitrogen model was compatible for Baiyin area of Gansu province by the flax/maize intercropping yield and economic results analysis.

Key words Flax/maize intercropping; Irrigation quantity; Nitrogen rate; Leaf area index; Dry matter accumulation; Yield factor

Received 2018-01-23

Returned 2018-04-06

Foundation item National Key Research and Development Project (No. 2016YFD0100103-19); Major Science and Technology Projects in Gansu Province (No. 1602NKDF021); Major Science and Technology Projects in Gansu Province (No. 17ZD2NA016).

First author WANG Xiaojuan, female, associate research fellow. Research area: maize breeding. E-mail: wangxj839@sina.com

Corresponding author HE Haijun, male, research fellow. Research area: maize breeding. E-mail: hhjun007@sina.com

(责任编辑: 成 敏 Responsible editor: CHENG Min)