

带状复合种植对玉米和大豆光合特性及籽粒产量的影响

徐延辉¹,王 畅¹,郑殿峰^{1,2},冯乃杰¹,梁晓艳¹,刘 洋³

(1. 黑龙江八一农垦大学 农学院,黑龙江 大庆 163319; 2. 黑龙江八一农垦大学 国家杂粮工程技术研究中心,黑龙江 大庆 163319; 3. 中国农业大学 农学与生物技术学院/农业部农作制度重点实验室,北京 100193)

摘 要:为比较带状复合种植和清种植模式下玉米和大豆光合特性以及产量的差异,2015 年和 2016 年进行大田试验,研究了玉米和大豆 2:4 带状复合种植模式及清种植对玉米和大豆光合特性及籽粒产量的影响。结果表明:(1)与清种玉米相比,对于高秆品种(垦丰 41),带状复合种植提高了玉米净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和水分利用效率;对于矮秆品种(垦丰 40),2015 年带状复合种植净光合速率等指标略小于清种玉米,但水分利用效率和胞间 CO₂ 浓度均大于清种玉米,有利于玉米籽粒内含物质的积累,而 2016 年净光合速率和蒸腾速率等指标均大于清种玉米;(2)对于高秆品种(垦丰 41),除叶绿素含量略小外,清种大豆的各光合生理指标均大于带状复合种植;对于矮秆品种(垦丰 40),带状复合种植净光合速率、气孔导度和叶绿素均大于清种大豆,且净光合速率均达到极显著差异水平;(3)带状复合种植增加了玉米穗粒数、穗重、籽粒重,虽产量较清种略有降低,但总经济效益高于清种;(4)带状复合种植大豆较清种大豆单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重均有所降低,且产量明显下降,但总体经济效益高于清种经济效益。综合分析认为:玉米大豆带状复合种植增加了玉米光合生理特性,且对于增加玉米和大豆总产量和总体经济效益具有重要意义。

关键词:带状复合种植;清种;玉米;大豆;光合特性;产量

中图分类号:S565. 1 **文献标识码:**A **DOI:**10. 11861/j. issn. 1000-9841. 2017. 04. 0540

Effects of the Strip Compound Planting System on Photosynthetic Characteristics and Grain Yield of Maize and Soybean

XU Yan-hui¹, WANG Chang¹, ZHENG Dian-feng^{1,2}, FENG Nai-jie¹, LIANG Xiao-yan¹, LIU Yang³

(1. Agronomy College of Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 2. National Coarse Cereals Engineering Research Center, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China; 3. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University/Key Laboratory of Farming System, Ministry of Agriculture, Beijing 100193, China)

Abstract: In order to compare the differences of the photosynthetic characteristics and yield of maize and soybean under the strip compound planting and monoculture, field experiments were conducted to investigate the effects of strip compound planting system (maize-soybean 2:4) and corresponding monoculture on photosynthetic characteristics and grain yield of maize and soybean in two growing seasons (2015 and 2016). The results showed that: (1) As to the tall cultivar (Kenfeng 41), the strip compound planting increased the net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance, intercellular CO₂ concentration and water use efficiency of maize compared with maize monocultured. Although the net photosynthetic rate of the strip compound planting was slightly less than that of the maize monocultured in 2005, the water use efficiency and intercellular CO₂ concentration were larger than that of the monoculture, which was beneficial to the accumulation of substance in maize grain, when the soybean variety was the dwarf variety (Kenfeng 40). (2) As to the tall cultivar (Kenfeng 41), the photosynthetic physiological indexes of soybean monocultured was larger than that of the strip compound planting except the content of chlorophyll was smaller; As to the dwarf cultivar (Kenfeng 40), the net photosynthetic rate, stomatal conductance and chlorophyll content of the strip compound planting were higher than those of soybean monocultured, and the net photosynthetic rate was significantly different. (3) The strip compound planting increased the grain number per ear, ear weight and seeds weight of maize. Although the yield of the strip compound planting was slightly lower, the total economic benefit was higher than that of maize monocultured. (4) The number of pods per plant, grain number per plant, grain weight per plant, 100-seed weight and yield were decreased, but the total economic benefit was higher than that of soybean monocultured. According to the data analysis, it was found that there was significant sense that the strip compound planting system of maize-soybean increased the photosynthetic physiological characteristics of maize, increased the total yield and economic benefits.

Keywords: Strip compound planting; Monoculture; Maize; Soybean; Photosynthetic characteristics; Yield

带状复合种植是农业中一种重要的栽培模式, 行间比来实现资源的重新分配,利用作物种植在时间和空间上的合理配置,充分利用多种环境资源,其通过打破原有传统的栽培方式,利用作物合理的

收稿日期:2017-03-11
基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0300204)。
第一作者简介:徐延辉(1990 -),男,硕士,主要从事玉米大豆带状复合种植模式研究。E-mail:846030221@qq.com。
通讯作者:郑殿峰(1969 -),男,教授,博导,主要从事作物化控及大豆生理研究。E-mail:dianfeng69@gmail.com。

对于提高氮肥利用率^[1]、减量施氮^[2]、改良土壤^[3]以及提高产量^[4]具有重要作用,是近年发展比较迅速、推广面积较大的种植方式^[5]。玉米大豆带状复合种植是重要的复合种植方式之一,近些年来,龚万灼等^[6]和杨峰等^[7]研究了玉米大豆带状复合种植对作物生长发育、生物量积累、根系建成及产量的影响。玉米大豆带状复合种植中大豆通过根瘤菌固氮作用将固定的氮素通过土壤供玉米使用,促进了玉米生长,另一方面种间竞争促进了玉米对氮素的吸收,导致大豆吸氮量减少,因而大豆处于劣势,但玉米的吸收增加量大于大豆的减少量,这种劣势作用并不影响大豆的正常生长^[8-9]。光照是影响植物生长发育的重要环境因子之一,光合作用也是影响作物产量的决定因素^[10-11]。Hamdollah 等^[12-13]研究表明不同模式对生物量影响的主要原因是光环境的变化,他还指出复合种植提高了作物光合有效辐射截获以及养分吸收;Daniel 等^[14]研究表明复合种植可以提高弱竞争作物的光能截获,并有助于抑制杂草;Jiao 等^[15]研究了玉米和花生功能叶光合作用的光响应,结果表明复合种植提高了玉米和花生对于强弱光的利用率,可显著增产。总之,复合种植模式是提高光热资源利用率和土地生产力,有效保护农田生态环境^[16]的一项有力措施。

目前带状复合种植模式多应用于河南、四川等盆地丘陵地区,北方寒地应用较少。唐艺玲等^[17]的研究表明玉米和大豆 2:4 的复合种植模式增产优势最大,故本试验在前人研究基础上,重新计算出玉米与大豆、大豆与大豆以及垄与垄之间新的行间距来进行耕作,深入研究带状复合种植对于寒地玉米和大豆两种作物光合生理特性以及产量的影响,比较了带状复合种植和清种植模式下玉米和大豆光合生理特性以及产量和经济效益的差异,揭示了玉米和大豆不同种植模式下叶片光合生理作用的变化规律,为寒地引入新型栽培模式提供了有利的技术支撑,为探索复合种植增产机理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2015 和 2016 年在黑龙江省大庆市林甸县宏伟乡吉祥村(E124. 87°, N47. 18°) 黑龙江八一农垦大学试验基地进行。林甸县位于松嫩平原北部,属北温带大陆季风性气候。土壤类型为草甸黑钙土,0 ~ 20 cm 耕层土壤基础养分状况为:碱解氮 136 mg · kg⁻¹, 速效磷 13. 82 mg · kg⁻¹, 速效钾 205 mg · kg⁻¹, 有机质含量 33 g · kg⁻¹, pH8. 11。

1.2 试验设计

试验于 2015 和 2016 年 5 月 27 日玉米和大豆同时播种,10 月 7 日收获大豆,10 月 14 日收获玉米。所用玉米品种为绿玉,大豆品种为垦丰 40(矮秆品种)和垦丰 41(高秆品种)。本试验设置以下种植模式:清种玉米(记为“SM”)、清种大豆 1(品种为垦丰 41,记为“SS1”)、清种大豆 2(品种为垦丰 40,记为“SS2”)、玉米大豆带状复合种植区 1(玉米品种为绿玉,记为“IM1”,大豆品种为垦丰 41,记为“IS1”)、玉米大豆带状复合种植区 2(玉米品种为绿玉,记为“IM2”,大豆品种为垦丰 40,记为“IS2”) , 每种植模式 6 幅。带状复合种植玉米与大豆采用 2:4 比例进行种植,带状复合种植玉米种植密度为 42 960 株 · hm⁻²,带状复合种植大豆种植密度为 226 500 株 · hm⁻²,具体种植规格见图 1;清种玉米与清种大豆:采用 65 cm 小垄播种,清种玉米种植密度为 64 125 株 · hm⁻²,大豆采用单垄双行的模式,清种大豆种植密度为 375 000 株 · hm⁻²,本试验施肥、除草、除虫等田间管理同当地常规生产一致,以保证作物的正常生长发育。

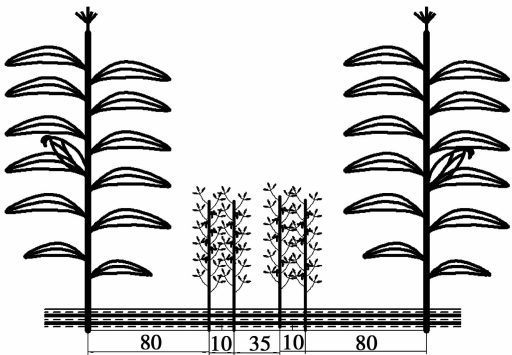


图 1 玉米大豆带状复合种植模式图
Fig. 1 The pattern of maize and soybean compound planting

1.3 测定项目与方法

- 1.3.1 叶绿素和光合特性指标 叶绿素含量测定采用美国 OPTI-sciences CCM-200 PLUS 叶绿素测定仪,光合指标的测定采用 LI-6400 便携式光合仪进行测定,于晴天上午 9:00 - 11:00 在每处理中选择受光方向和生长状况一致的最上部充分展开的叶片进行测定。水分利用效率采用公式计算:水分利用效率 = 净光合速率/蒸腾速率。
- 1.3.2 产量 产量测定在收获期每小区取 10 株进行考种,玉米测定穗长、秃尖长、穗位高、穗粗、穗粒数、穗重、籽粒重和百粒重;大豆测定株高、茎粗、单

株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重。

1.4 数据分析

数据处理和绘图运用 Excel 2010、CAXA 和 GraphPad Prism 5,采用 SPSS 19.0 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 玉米大豆带状复合种植对玉米叶片光合特性的影响

如表 1 所示,2015 年 IM1 处理净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率、水分利用效率以及叶绿素含量均大于 SM 处理,较 SM 处理分别高 4.37%、36.36%、89.17%、4.86%、1.1% 和 3.44%,其中 IM1 处理与 SM 处理的气孔导度和胞间 CO₂ 浓度达到显著差异水平 ($P < 0.05$),而净光合速率、蒸腾速率、水分利用效率和叶绿素含量无显著差异;2016 年除水分利用效率和叶绿素小于 SM 处理外,其它各光合指标均大于 SM 处理,且气孔导度和蒸腾速率有显著差异。2015 年 IM2 处理较 SM 处理净

光合速率、气孔导度和蒸腾速率分别少于 11.59%、11.59%、20.14%,达到显著差异水平,而叶绿素含量高出 0.95%,无显著差异;IM2 处理净光合速率、气孔导度、蒸腾速率和叶绿素含量虽小于 SM 处理,但 IM2 处理的胞间 CO₂ 浓度和水分利用效率分别高于 SM 处理 30.05% 和 12.97%;2016 年 IM2 处理较 SM 处理净光合速率、气孔导度和蒸腾速率分别高 22.10%、40.34% 和 34.22%,且气孔导度和蒸腾速率达到极显著差异。

2015 年和 2016 年 IM1 处理除水分利用效率略低于 IM2 处理外,净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率和叶绿素含量较 IM2 处理高,2015 年分别高 18.06%、50%、45.46%、31.3% 和 4.44%,且各指标均达到显著差异水平 ($P < 0.05$);2016 年分别高 6.37%、30.78%、40.55%、38.06% 和 3.69%,且胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率均达到极显著差异水平 ($P < 0.01$)。

表 1 玉米大豆带状复合种植对玉米叶片光合特性的影响

Table 1 Effects of strip compound planting with maize and soybean on photosynthetic characteristics of maize leaves							
年份 Year		净光合速率 P_n $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	气孔导度 C_s $/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 CO ₂ 浓度 C_i $/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 T_r $/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	水分利用效率 WUE $/\%$	叶绿素含量 Chlorophyll content $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW})$
2015	SM	18.29 aA	0.11 bA	74.70 bA	1.44 aA	12.72 aA	55.73 aA
	IM1	19.09 aA	0.15 aA	141.31 aA	1.51 aA	12.86 aA	57.65 aA
	IM2	16.17 bB	0.10 bA	97.15 bA	1.15 bA	14.37 aA	55.20 aA
2016	SM	19.78 bA	0.14 cB	118.66 abAB	3.38 cC	5.86 aA	44.63 aA
	IM1	25.70 abA	0.25 bAB	137.12 bB	6.26 bB	4.14 cB	27.17 bB
	IM2	24.16 aA	0.19 aA	97.56 aA	4.53 aA	5.28 bA	26.20 bB

数值为平均值;表中同行后面的不同大写字母和同列数字后的不同小写字母表示利用 Duncan's 检验分别在 0.01 和 0.05 水平上差异显著。下同。

Values are mean. Values followed by different capital and lowercase letters in a row are significantly different at 0.01 and 0.05 probability levels as tested by Duncan's. The same below.

2.2 玉米大豆带状复合种植对大豆叶片光合特性的影响

如表 2 所示,2015 年和 2016 年 IS1 处理除叶绿素含量略大于 SS1 处理外,净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率和水分利用效率均小于 SS1 处理,2015 年较 SS1 处理分别低于 24.69%、17.39%、10.15%、8.51% 和 17.72%,其中 IS1 与 SS1 的净光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、蒸腾速率和水分利用效率达到极显著差异水平 ($P < 0.01$),而叶绿素含量无显著差异;2016 年较 SS1 处理分别低于 19.53%、37.78%、1.01%、19.19% 和

5.19%,其中在净光合速率、气孔导度和蒸腾速率达到极显著差异水平 ($P < 0.01$)。

如表 3 所示,2015 年和 2016 年 IS2 处理净光合速率、气孔导度和叶绿素含量均大于 SS2 处理,2015 年较 SS2 处理分别高 13.22%、5.13% 和 3.73%,其中 IS2 与 SS2 的净光合速率达到极显著差异水平 ($P < 0.01$);2016 年较 SS2 处理分别高 38.67%、93.48% 和 1.74%,其中净光合速率和气孔导度达到极显著差异水平 ($P < 0.01$),而两年 IS2 处理的叶绿素含量虽较 SS2 处理高,但未达到显著差异水平。

表 2 玉米大豆带状复合种植对垦丰 41 叶片光合特性的影响

Table 2 Effects of strip compound planting with maize and soybean on photosynthetic characteristics of Kenfeng 41 leaves

年份 Year		净光合速率 P_n $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	气孔导度 C_s $/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 C_i $/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 T_r $/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	水分利用效率 WUE / %	叶绿素含量 Chlorophyll contet $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW})$
2015	SS1	21.62 aA	0.46 aA	354.67 aA	4.93 aA	4.40 aA	49.96 aA
	IS1	16.28 bB	0.38 bB	318.65 bB	4.51 bB	3.62 bB	50.28 aA
2016	SS1	11.42 aA	0.45 aA	271.69 aA	7.45 aA	1.54 aA	34.57 bA
	IS1	9.19 bB	0.28 bB	268.94 aA	6.02 bB	1.46 aA	36.20 aA

表 3 玉米大豆带状复合种植对垦丰 40 叶片光合特性的影响

Table 3 Effects of strip compound planting with maize and soybean

年份 Year		净光合速率 P_n $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	气孔导度 C_s $/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	胞间 CO_2 浓度 C_i $/(\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 T_r $/(\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	水分利用效率 WUE / %	叶绿素含量 Chlorophyll contet $/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW})$
2015	SS2	15.81 aA	0.39 aA	344.37 aA	4.60 aA	3.46 aA	49.61 aA
	IS2	17.90 bB	0.41 aA	284.29 bB	4.07 bB	4.41 bB	51.46 aA
2016	SS2	11.69 aA	0.46 aA	283.91 aA	8.08 aA	1.60 aA	37.35 aAB
	IS2	16.21 bB	0.89 bB	282.37 bB	10.19 aA	1.45 bB	38.00 aA

2.3 玉米大豆带状复合种植对玉米籽粒产量构成因子的影响

如表 4 所示,IM1 和 IM2 处理较 SM 处理均增加了穗粒数、穗重、籽粒重,IM1 较 SM 处理分别高 5.35%、12.65% 和 10.4%,而 IM2 较 SM 处理分别高 0.69%、6.32% 和 5.19%,均未达到显著差异水平;同时 IM1 和 IM2 较 SM 处理减小了秃尖长,降低

了穗位高。此外,IM1 较 SM 处理还增加了穗长、穗粗和百粒重,分别高 7.85%、1.94% 和 17.29%,且穗长和百粒重达到极显著差异水平;同时,SM 较 IM2 处理穗长增加了 4.44%,百粒重增加了 8.29%,其中穗长无显著差异,百粒重达极显著差异。

表 4 玉米大豆带状复合种植对玉米籽粒产量构成因子的影响

Table 4 Effects of maize and soybean strip compound plantingyield components of maize

处理 Treatment	SM	IM1	IM2
穗长 Ear length	21.41 ±0.30 bB	23.09 ±0.42 aA	20.50 ±0.26 bB
秃尖长 Bare tip legth	24.71 ±0.82 aA	17.84 ±2.19 bA	19.67 ±1.86 abA
穗位高 Ear height	115.41 ±1.97 aA	102.42 ±1.37 cC	108.53 ±.95 bB
穗粗 Ear width	50.41 ±0.67 aA	51.39 ±0.55 aA	50.41 ±0.29 aA
穗粒数 Grains per ear	518.85 ±13.63 aA	546.57 ±19.07 aA	522.45 ±10.96 aA
穗重 Ear weight	305.02 ±1.83 aA	343.62 ±28.62 aA	324.32 ±8.23 aA
籽粒重 Grain weight	240.63 ±0.93 aA	265.66 ±22.31 aA	253.14 ±7.53aA
百粒重 100-seed weight	45.70 ±0.10 bB	53.60 ±0.50 aA	42.20 ±0.70 cC

2.4 玉米大豆带状复合种植对大豆籽粒产量构成因子的影响

玉米大豆带状复合种植体系中的大豆较清种大豆单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重均有所降低。如表 5 所示,除 SS1 茎粗略小外,IS1 较 SS1 处理株高、单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重分别少 13.74%、25.06%、26.54%、22.00% 和 4.22%,均达到显著差异水平,其中,单株荚数和单株粒数达到极显著差异水平;如表 6 所示,除 IS2 株

高极显著高于 SS2 外,IS2 处理茎粗、单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重较 SS2 处理分别高 26.85%、40%、35.36%、34.28% 和 6.24%,除单株粒重达到显著差异水平,其余均无显著差异。

此外,SS1 处理较 SS2 处理株高、单株荚数、单株粒数和单株粒重分别高 62.60%、28.10%、44.00% 和 27.30%;IS1 处理较 IS2 处理单株荚数、单株粒数和单株粒重分别高出 60.07%、63.64% 和 51.08%。

表 5 玉米大豆带状复合种植对垦丰 41 籽粒产量构成因子的影响

Table 5 Effects of strip compound planting with maize and soybean on yield components of Kenfeng 41

	株高 Plant height	茎粗 Stem width	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	单株粒重 Seeds weight per plant	百粒重 100-seed weight
SS1	93.01 ± 3.22 aA	5.80 ± 0.10 aA	37.38 ± 2.51 aA	76.03 ± 4.30 aA	10.77 ± 0.67 aA	16.81 ± 0.44 aA
IS1	80.23 ± 1.87 bB	5.83 ± 0.10 bB	28.01 ± 2.45 bB	55.85 ± 4.76 bB	8.40 ± 0.39 bA	16.10 ± 0.43 bA

表 6 玉米大豆带状复合种植对垦丰 40 籽粒产量构成因子的影响

Table 6 Effects of strip compound planting with maize and soybean on yield components of Kenfeng 40

	株高 Plant height	茎粗 Stem width	单株荚数 Pods per plant	单株粒数 Seeds per plant	单株粒重 Seeds weight per plant	百粒重 100-seed weight
SS2	57.20 ± 2.87 aA	6.07 ± 0.33 aA	29.18 ± 3.74 aA	52.80 ± 4.17 aA	8.46 ± 0.14 aA	18.60 ± 0.60 aA
IS2	83.56 ± 3.05 bB	4.44 ± 0.42 aA	17.50 ± 4.45 aA	34.13 ± 9.25 aA	5.56 ± 0.39 bA	17.44 ± 0.19 aA

2.5 玉米大豆带状复合种植对产量和经济效益及其构成因子的影响

如图 3 所示,清种玉米和带状复合种植玉米产量从大到小的顺序为 SM > IM2 > IM1,且 IM1 和 IM2 分别低于 SM 处理 36.08% 和 33.12%,而 IM2 高于 IM1 处理 4.63%。清种大豆和带状复合种植大豆产量从大到小的顺序为 SS1 > SS2 > IS1 > IS2。IS1 处理产量较 SS1 处理和 SS2 处理分别低 51.42% 和 19.87%,IS2 处理和 SS1 处理产量较 SS2 处理分别低 65.99% 和 43.91%。清种植和带状复合种植单位经济效益从大到小的顺序为 IM1 > SM > IM2 > SS1 > SS2。IM1 处理经济效益较 SM 处理、IM2 处理和 SS1 处理分别高于 11.8%、11.2% 和 14.42%。

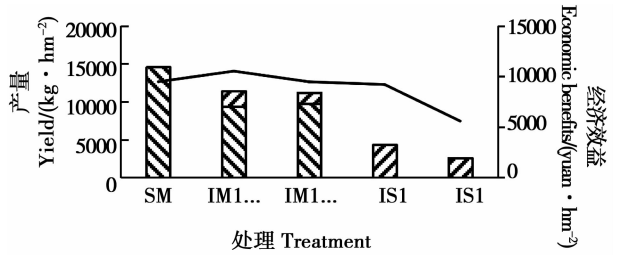


图 3 群体产量经济效益比较

Fig. 3 Comparison on group production economic benefits

3 结论与讨论

研究表明,清种影响了生态系统的丰富度,降低了生物多样性种类^[18];而长期清种也会浪费可利用的资源,削弱生态系统抗逆性^[19]。Liu 等^[20]研究

表明复合种植模式对于资源的消耗有显著影响,相比清种,有更多的养分吸收和光截获,也表明了复合种植成分在消耗资源上的互补效应;高伟^[21]研究表明复合种植提高了油茶日均净光合速率、日均蒸腾速率、日均气孔导度等多种光合特性指标,同时复合种植旱稻增强了油茶吸收光能;张建华等^[22]和杨磊等^[23]研究表明玉米和大豆复合种植系统增强了玉米光合力,显著增加了玉米叶片的光合速率和蒸腾速率;王秀领等^[24]研究也表明玉米和大豆复合种植提高了玉米光合速率,但降低了大豆的光能利用率。本研究得出相似结论:带状复合种植相对于清种优势明显,带状复合种植提高了玉米净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度、水分利用效率,增加了玉米穗粒数、穗重、籽粒重,减小了秃尖长,降低了穗位高,使单株产量增加。分析认为玉米和大豆品种和生理特性以及群体结构的差异,通过玉米和大豆之间的合理配置,实现了玉米和大豆在时间和空间上的互补,增加了光合资源的利用,提高了土地生产力,实现了作物高产。此外,2015 年试验表明当大豆品种为垦丰 40 时,清种玉米净光合速率等指标略大于带状复合种植玉米,分析原因可能是由于 2015 年 8 月降雨量较大,田间土壤水分偏多即会影响玉米光照,使玉米光合生理指标受到一定影响,由于不同大豆品种群体结构不同,降雨量对于垦丰 40(矮秆品种)的影响更大,故当大豆品种为垦丰 40 时,带状复合种植玉米光合速率等指标略小于清种玉米,但带状复合种植玉米的水分利用效率有所提高,也会促进玉米体内的物质运输,促进玉米籽粒内含物质的充实和积累。

同时,本试验与焦念元等^[25-26]和胡举伟等^[27]的研究一致,表明相对于清种大豆品种,带状复合种植大豆光合生理指标和产量均有所下降,这可能是由于带状复合种植玉米行间的空间小,无法满足大豆生长所需要的光热资源,以致带状复合种植大豆较清种光合作用降低,单株荚数、单株粒数、单株粒重和百粒重均减少,产量也有所降低,然而玉米大豆带状复合种植下玉米的经济效益远大于清种玉米和清种大豆的经济效益,故带状复合种植大豆少量的减产并不影响经济效益。由此表明,玉米大豆带状复合种植模式适宜在寒地推广施行,同时也表明采用新行间距的带状复合种植模式相对清种具有更大得增产优势和更大的经济效益。本试验仅研究了寒地玉米大豆带状复合种植对玉米和大豆

光合生理指标以及产量和产量构成因素的影响,今后还应深入挖掘带状复合种植影响光合生理指标的内在机理,为作物的生产提供更科学的依据。

参考文献

[1] 雍太文,董茜,刘明,等. 施肥方式对玉米-大豆套作体系氮素吸收利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2014,36(1): 84-91. (Yong T W,Dong Q,Liu M,et al. Effect of N application methods on N uptake and utilization efficiency in maize-soybean relay strip intercropping system[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2014, 36(1):84-91.)

[2] 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. (Liu X M,Yong T W,Su B Y,et al. Effect of reduced N application on crop yield in maize-soybean intercropping system[J]. Acta Agronomica Sinica, 2014, 40(9): 1629-1638.)

[3] Pypers P, Sanginga J M,Kasereka B,et al. Increased productivity through integrated soil fertility management in cassava - legume intercropping systems in the highlands of Sud-Kivu, DR Congo [J]. Field Crops Research,2011,120(1):76-85.

[4] 王晓维,杨文亭,缪建群,等. 玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响[J]. 生态学报, 2014,34(18): 5275-5281. (Wang X W,Yang W T, Miu J Q, et al. Effects of maize-soybean intercropping and nitrogen fertilizer on yield and agronomic traits of maize [J]. Journal of Ecology, 2014, 34(18): 5275-5281.)

[5] Dhima K V, Lithourgidis A A,Vasilakoglou I B,et al. Competition indices of common vetch and cereal intercrops in two seeding ratio [J]. Field Crop Research, 2007, 100: 249-256.

[6] 龚万灼,吴雨珊,雍太文,等. 玉米-大豆带状套作中荫蔽及光照恢复对大豆生长特性与产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2015, 37(4): 475-480. (Gong W Z, Wu Y S, Yong T W,et al. Effects of shade and lighting recovery on growth and yield of soybean in maize-soybean relay strip intercropping [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences,2015, 37(4): 475-480.)

[7] 杨峰,娄莹,廖敦平,等. 玉米-大豆带状套作行距配置对作物生物量、根系形态及产量的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(4): 642-650. (Yang F, Lou Y, Liao D P, et al. Effects of row spacing on crop biomass, root morphology and yield in maize-soybean relay strip intercropping system[J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(4): 642-650.

[8] 余常兵,孙建好,李隆. 种间相互作用对作物生长及养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 1-8. (Yu C B,Sun J H,Li L. Effect of interspecific interaction on crop growth and nutrition accumulation[J]. Journal of plant nutrition and fertilizer, 2009, 15(1): 1-8.)

[9] 李少明,赵平,范茂攀,等. 玉米大豆间作条件下氮素养分吸收利用研究[J]. 云南农业大学学报, 2004, 19(5):572-574. (Li S M, Zhao P, Fan M P, et al. Nitrogen uptake an utilization in intercropping system of maize and soybean[J]. Journal of Yun-

nan Agricultural University, 2004, 19(5): 572-574.)

[10] Heldt,Hans W. The use of energy from sunlight by photosynthesis is the basis of life on earth[J]. Plant Biochemistry, 2011; 43-64.

[11] Depauw F A, Rogato A, Ribera M, et al. Exploring the molecular basis of responses to light in marine diatoms[J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63(4): 1575-1591.

[12] Hamdollah E,Ahmad G B, Muhammad G, et al. Forage quality of cow pea (*Vigna sinensis*) intercropped with corn (*Zea mays*) as affected by nutrient uptake and light interception[J]. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 2009, 37(1): 171.

[13] Hamdollah E,Ahmad G. Environmental resource consumption in wheat (*Triticum aestivum*) and bean (*Vicia faba*) Intercropping: Comparison of nutrient uptake and light interception[J]. Notulae Scientiae Biologicae, 2010, 2(3): 100.

[14] Daniel B,Lammert B,Martin K. Effects of intercropping on growth and reproductive capacity of late-emerging *Senecio vulgaris* L., with special reference to competition for light[J]. Annals of Botany, 2001, 87: 9.

[15] Jiao N Y, Zhao C, Ning T Y, et al. Effects of maize-peanut intercropping on economic yield and light response of photosynthesis [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(5): 981-985.

[16] 许秀娟,贾志宽,蒋骏,等. 宁南半干旱偏旱区间作模式及其资源利用状况分析[J]. 干旱地区农业研究, 2000, 18(2): 97-103. (Xu X J, Jia Z K, Jiang J,et al. An analysis of resources utilization condition of intercropping patterns in the semiarid areas liable to droughts in South Ningxia[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2000, 18(2): 97-103.)

[17] 唐艺玲,杜清,赖建宁,等. 广东省甜玉米-大豆不同比例间作模式的系统产量分析[J]. 广东农业科学, 2013, (21): 19-23. (Tang Y L, Du Q, Lai J N, et al. Analysis on yield and economic efficiency in different patterns of sweet corn-soybean intercropping systems in Guangdong province[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2000, 18(2): 97-103.)

[18] 高砚亮,孙占祥,白伟,等. 玉米花生间作效应研究进展[J]. 辽宁农业科学, 2016 (1): 41-46. (Gao Y L, Sun Z X, Bai W, et al. The research progress of maize peanut intercropping[J]. Liaoning Agricultural Sciences, 2016,(1): 41-46.)

[19] 高阳,段爱旺,刘祖贵,等. 单作和间作对玉米和大豆群体辐射利用率及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(1):7-12. (Gao Y, Duan A W, Liu Z G, et al. Effect of monoculture and intercropping on radiation use efficiency and yield of maize andsoybean[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(1): 7-12.

[20] Liu X, Rahman T, Song C, et al. Changes in light environment, morphology, growth and yield of soybean in maize-soybean intercropping systems[J]. Field Crops Research, 2016.

[21] 高伟. 浙西南不同间作模式对油茶生境及光合作用的影响 [D].长沙:中南林业科技大学, 2014. Gao W. The Infuence of different intercropping patterns on the growing environment and photosynthesis of *Camellia oleifera* in Southwest of Zhejiang Province [D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2014.

[22] 张建华,马义勇,王振南,等. 间作系统中玉米光合作用指标改善的研究[J]. 玉米科学, 2006, 14(4): 104-106. (Hang J H, Ma Y Y, Wang Z N,et al. Research on the improment of photosynthesis indices of maize in the intercropping system[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(4): 104-106.)

[23] 杨磊,吴晗,赵立华,等. 玉米与大豆间作对玉米叶片气孔及光合效率的影响[J]. 云南农业大学学报, 2012, 27(1): 39-43. (Yang L, Wu H, Zhao L H,et al. The Effect of intercropping of maize and soybean on stomata and photosynthetic efficiency of maize[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2012, 27(1): 39-43.)

[24] 王秀领,闫旭东,徐玉鹏,等. 玉米-大豆间作复合体系光合特性研究[J]. 河北农业科学, 2012, 16(4): 33-35, 59. (Wang X L,Yan X D,Xu Y P,et al. Study on the photosynthetic characteristics of intercropping system of maize and soybean[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2012, 16(4): 33-35,59.)

[25] 焦念元,宁堂原,赵春,等. 玉米花生间作复合体系光合特性的研究[J]. 作物学报, 2006, 32(6): 917-923. (Jiao N Y, Ning T Y,Zhao C,et al. Characters of photosynthesis in intercropping system of maize and peanut [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(6): 917-923.)

[26] 焦念元,杨萌珂,宁堂原,等. 玉米花生间作和磷肥对间作花生光合特性及产量的影响[J]. 植物生态学报,2013, 37(11): 1010-1017. (Jiao N Y, Yang M K, Ning T Y, et al. Effects of maize-peanut intercropping and phosphate fertilizer on photosynthetic characteristics and yield of intercropped peanut plants[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2013, 37(11): 1010-1017.)

[27] 胡举伟,朱文旭,张会慧,等. 桑树/苜蓿间作对其生长及土地和光资源利用能力的影响[J]. 草地学报, 2013, 21(3): 494-500. (Hu Y W,Zhu W X,Zhang H H,et al. Effects of mulberry/alfalfa intercropping on their growth, the utilization of land and light resource [J]. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(3): 494-500.)