

黄土高原不同玉米—大豆间作模式对玉米生长发育的影响

王志梁¹, 任媛媛², 张岁岐²

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所
黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 以玉米品种(郑单 958, 豫玉 22)和大豆品种(中黄 24, 中黄 13)为材料进行田间试验, 在单作和间作两种模式(间作比例分别为 2:2, 2:4)下研究了黄土塬区不同玉米—大豆间作模式对玉米生长发育的影响。研究表明, 郑单 958 分别与大豆两个品种间作, 玉米叶片叶绿素相对含量、单株叶面积、茎粗和干物质积累量从喇叭口期开始均高于单作, 株高在生育后期表现为间作高于单作。豫玉 22 分别与大豆两个品种间作, 玉米叶片叶绿素相对含量和茎粗从喇叭口期开始高于单作, 干物质积累量从吐丝期开始高于单作, 单株叶面积在吐丝期显著高于单作, 株高在生育后期表现为间作低于单作。间作下的郑单 958 干物质积累量在生育后期高于豫玉 22, 更有利于增产。在所选的玉米和大豆间作模式中, 郑单 958 和中黄 24 以 2:4 间作是黄土塬区对玉米增产更为有利的间作模式。

关键词: 玉米; 大豆; 间作比例; 生长特征; 黄土高原

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)06-0321-06

中图分类号: S513

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.06.062

Effect of Maize—Soybean Intercropping Modes on Maize Growth on Loess Plateau

WANG Zhi-liang¹, REN Yuan-yuan², ZHANG Sui-qi²

(1. College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Two maize cultivars (Zhengdan-958 and Yuyu-22) and two soybean cultivars (Zhonghuang-24 and Zhonghuang-13) were selected under monoculture and intercropping modes (2:2 and 2:4 ratios) respectively, to explore the effect of maize—soybean intercropping modes on maize growth on the Loess Plateau. The result showed that, compared with monoculture, Zhengdan-958 intercropped with the two soybean cultivars can increase the chlorophyll relative content, leaf area per plant, stem diameter and dry matter accumulation of maize starting from the huge bellbottom period, and the plant height exceed that in monoculture in the late growth stage. When Yuyu-22 intercropped with the two soybean cultivars, the maize chlorophyll relative content and stem diameter were higher than that in monoculture starting from the huge bellbottom period, and the dry matter accumulation were higher than that in monoculture starting from the silking stage. The leaf area per plant was higher than that in monoculture significantly in the silking stage, but the plant height lower than that in monoculture in the late growth stage. The dry matter accumulation of Zhengdan-958 was higher than that of Yuyu-22 in the late growth stage under intercropping, so it was more beneficial to maize yield. In the selected maize—soybean intercropping patterns, Zhengdan-958 intercropped with Zhonghuang-24 with 2:4 ratio was more beneficial to maize yield on the Loess Plateau.

Keywords: maize; soybean; intercropping proportion; growth characteristics; the Loess Plateau

收稿日期: 2014-01-02

修回日期: 2014-01-10

资助项目: 国家高技术研究(863)发展计划项目“农作物水肥高效利用生理调控及施肥产品研制”(2011AA100504)

作者简介: 王志梁(1986—), 男(汉族), 山东省东平县人, 硕士研究生, 研究方向为植物水分生理生态。E-mail: wzl666@yeah.net。

通信作者: 张岁岐(1966—), 男(汉族), 陕西省岐山县人, 研究员, 博士生导师, 主要从事植物水分生理生态研究。E-mail: sqzhang@ms.iswc.ac.cn。

近几十年来,随着资源、环境、粮食等全球性问题的日益加剧,间套作再次引起人们的关注^[1-4]。不同类型的间套作模式中,禾豆间作由于增产和节约化学氮肥等特点而倍受关注,从而被认为是未来可持续农业发展的重要方向之一^[5-7]。在我国,玉米与豆科的间作是一种优势的种植制度。合理的间作可充分利用资源,提高土地生产力,有效增加地面覆盖度,防止水土流失,尤其在中低产地区,豆科作物对提高土壤肥力和稳定作物产量有着重要作用^[8]。有研究^[9]表明,与单作种植相比,玉米/大豆间作群体内玉米的产量增加,而大豆的产量降低或不变,从而使整个体系的产量增加。黄土塬区属于半干旱地区,水资源短缺是限制作物产量的重要因素,因此,通过选择合理的种植体系提高水分利用效率,是旱作生产中提高作物产量的重要手段。但是,禾豆间作已有的研究成果多集中在种植模式、养分利用机理和经济效益等方面,而关于不同间作模式对玉米生长的影响研究较少。本研究通过对黄土塬区不同的玉米和大豆品种以及不同的间作比例下各生育期内玉米生长的动态监测,探讨玉米/大豆间作条件下玉米的生长特征,为指导合理种植、资源高效利用提供理论和技术依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验在中国科学院水利部水土保持研究所武生态农业试验站进行。试验站位于陕西省长武县洪家镇王东村(107°40'E,35°12'N),海拔 1200 m,属暖温带半湿润半干旱大陆性季风气候,光照充足,昼夜温差较大;年均降水量 584 mm 左右,且多集中于 6—8 月份;年均气温 9.1 °C,无霜期 171 d,作物种植多为一年一季;地下水埋深 50~80 m,属典型旱作农业区;地貌属高原沟壑区,塬面和沟壑两大地貌单元各占 35%和 65%;地带性土壤为黑垆土,土体结构均匀疏松,是黄土高原沟壑区典型性土壤。

1.2 试验设计与方法

1.2.1 试验设计 玉米选用郑单 958(A)和豫玉 22(B)两个品种,大豆选用中黄 24(C)和中黄 13(D)两个品种。试验于 2012 年 4—10 月进行。间作分为 2:2 和 2:4 两种间作比例(2:2 即 2 行玉米 2 行大豆间作,2:4 即 2 行玉米 4 行大豆间作),以玉米单作为对照,共 10 个处理,3 次重复,共 30 个小区。试验采用随机区组排列,小区面积 24 m²。0.5 m 等行距覆膜种植,玉米种植密度为 9.0×10⁴ 株/hm²,大豆种植密度为 2.1×10⁵ 株/hm²。玉米施氮肥 225 kg/hm²,分别在播前、拔节期和抽雄期按 4:3:3 的

比例施肥;大豆施氮肥 90 kg/hm²,在播前施肥;玉米和 大豆施磷肥均为 150 kg/hm²,分别在播前施肥。

1.2.2 玉米叶片叶绿素相对含量和单株叶面积的测定 在各处理内,分别于拔节期、大喇叭口期、吐丝期、乳熟期和蜡熟期用叶绿素仪(SPAD-502 Plus)进行叶片叶绿素测定;分别于拔节期、大喇叭口期、吐丝期和乳熟期随机选择代表性植株 3 棵,测定全部展开叶片的叶长、最大叶宽,根据公式:叶面积=叶长×叶宽×0.75(校正系数),得出叶面积值。

1.2.3 玉米株高和茎粗的测定 在各处理内选择 3 棵代表性植株,用卷尺自地上根茎结合处至茎秆最高处进行株高测定;用游标卡尺对各处理所选 3 棵代表性植株,在地上部分茎秆第 2 节进行茎粗测定。

1.2.4 玉米干物质积累量和产量的测定 分别于拔节期、大喇叭口期、吐丝期、乳熟期和蜡熟期在各处理内随机选择代表性植株 3 棵,将叶片、茎秆、穗分别采集,于 105 °C 杀青 0.5 h,并在 80 °C 烘至恒重,用电子天平称重;在每个处理计产区收获果穗,按平均鲜穗重从所收果穗中随机选取 10 穗进行考种计产。

1.3 数据分析

运用 Excel 进行数据整理,用 SPSS 17.0 进行统计分析,将不同间作组合分别与单作进行对比。

2 结果与分析

2.1 玉米叶片叶绿素相对含量随生育期的动态变化

叶绿素相对含量在乳熟期达到最大值(图 1)。从大喇叭口期开始,玉米和 大豆不同品种间作对玉米叶片叶绿素相对含量增加有促进作用,均高于单作。其中,豫玉 22 与大豆两个品种间作,在吐丝期,两种间作比例下的叶绿素相对含量较单作显著增加($p < 0.05$),而两种间作比例在各时期差异不显著。郑单 958 与中黄 24 间作,各生育时期没有明显的规律;郑单 958 与中黄 13 间作,在蜡熟期,间作比例 2:4 明显高于 2:2,其他时期差异不显著。

2.2 玉米单株叶面积随生育期的动态变化

间作下的单株叶面积在吐丝期达到最大值(图 2),而单作下的单株叶面积在大喇叭口期达到最大值。郑单 958 分别与大豆两个品种间作,单株叶面积从大喇叭口期开始较单作增加。郑单 958 与中黄 24 间作,与单作相比,间作比例 2:4 的玉米叶面积在吐丝期显著增加($p < 0.05$),其他时期差异不显著,但总体上高于 2:2 间作;郑单 958 与中黄 13 间作,间作比例 2:2 高于 2:4。豫玉 22 与大豆两个品种间作,单株叶面积在吐丝期较单作明显增加,间作比例 2:4 的单株叶面积在生育后期总体上高于 2:2 间作。

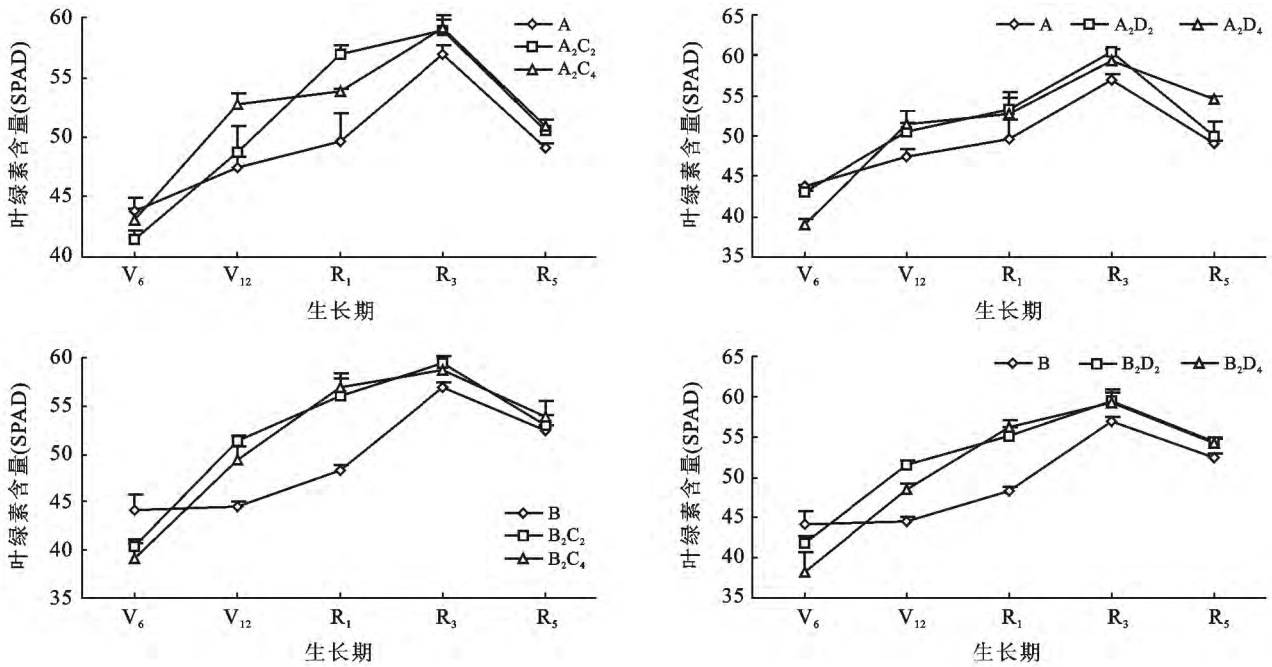


图 1 玉米叶片叶绿素相对含量随生育期的变化

注: V₆拔节期, V₁₂大喇叭口期, R₁吐丝期, R₃乳熟期, R₅蜡熟期; A 和 B 分别表示郑单 958 和豫玉 22 单作, AC, AD, BC 和 BD 分别表示两个玉米品种和两个大豆品种间作, 字母后的数字表示间作比例。

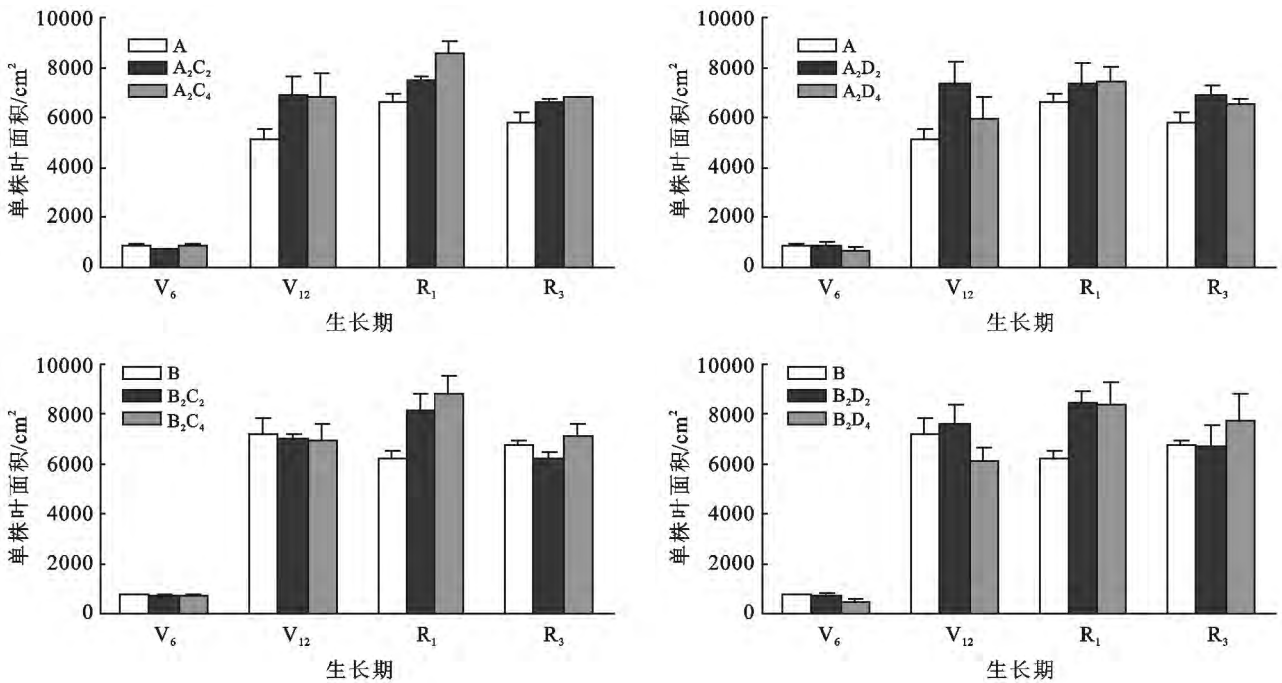


图 2 玉米单株叶面积随生育期的变化

2.3 玉米株高随生育期的动态变化

从拔节期开始, 间作与单作的玉米株高开始出现显著性差异(表 1)。郑单 958 与中黄 24 间作下, 在各生育时期, 间作比例 2:2 均高于 2:4; 郑单 958 与中黄 13 间作下, 从大喇叭口期开始, 2:2 间作高于 2:4 间作。豫玉 22 与中黄 24 间作, 在各生育时期, 间作比例 2:4 均高于 2:2; 豫玉 22 与中黄 13

间作, 从拔节期到吐丝期, 间作比例 2:2 高于 2:4。与单作相比, 郑单 958 分别与大豆两个品种间作, 在生育后期总体表现为间作高于单作; 豫玉 22 分别与大豆两个品种间作, 在吐丝期表现为间作高于单作, 在其他时期表现为间作低于单作。郑单 958 与豫玉 22 相比较, 在生育后期, 豫玉 22 高于郑单 958。

2.4 玉米茎粗随生育期的动态变化

玉米/大豆间作,玉米茎粗在大喇叭口期达到最大值(图 3)。郑单 958 与中黄 24 间作,与单作相比,从大喇叭口期开始出现显著差异($p < 0.05$);郑单 958 与中黄 13 间作,从大喇叭口期开始高于单作,但差异不显著。豫玉 22 分别与大豆两个品种间作,间作比例 2:4 总体上高于 2:2。从大喇叭口期开始,在各间作处理下,玉米茎粗均高于单作。在各生育时期,无论单作还是间作,郑单 958 总体上稍高于豫玉 22。

表 1 玉米株高随生育期的变化

种植模式	株高/cm			
	拔节期	大喇叭口期	吐丝期	乳熟期
A ₂ C ₂	50.6a	126.4a	263.6a	257.0a
A ₂ C ₄	46.7a	120.9a	254.5ab	253.7a
A ₂ D ₂	48.9a	129.9a	250.5ab	261.3a
A ₂ D ₄	50.7a	122.8a	246.4ab	257.1a
CK-A	54.3a	124.8a	227.5b	255.8a
B ₂ C ₂	42.2ab	128.2ab	274.0a	282.2b
B ₂ C ₄	43.2ab	136.4ab	292.6a	285.5b
B ₂ D ₂	42.9ab	126.3b	285.2a	283.3b
B ₂ D ₄	38.6b	117.9b	282.9a	285.0b
CK-B	50.6a	141.0a	273.2a	313.1a

注:不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。下同。

2.5 玉米干物质积累随生育期的动态变化

间作下的玉米干物质积累量从拔节期开始较单

作出现显著差异(表 2)。郑单 958 分别与大豆两个品种间作,从大喇叭口期开始,玉米生物量积累均高于郑单 958 单作处理。郑单 958 与中黄 24 间作,间作比例 2:4 高于 2:2;郑单 958 与中黄 13 间作,从吐丝期开始,间作比例 2:4 高于 2:2。豫玉 22 分别与大豆两个品种间作,从吐丝期开始,玉米生物量积累均高于豫玉 22 单作处理。豫玉 22 与中黄 24 间作,间作比例 2:4 均高于 2:2;豫玉 22 与中黄 13 间作,从吐丝期到蜡熟期,间作比例 2:4 高于 2:2。在蜡熟期,郑单 958 在各间作处理下,生物量积累都有大幅度提升,均高于豫玉 22,其中,郑单 958 与中黄 24 在 2:4 间作下,玉米干物质积累量高于其他处理。

表 2 玉米干物质积累随生育期的变化

种植模式	单株生物量/g				
	拔节期	大喇叭口期	吐丝期	乳熟期	蜡熟期
A ₂ C ₂	4.8a	59.8ab	167.1a	238.6a	387.2a
A ₂ C ₄	5.6a	64.3a	166.3a	251.2a	405.7a
A ₂ D ₂	5.7a	61.6ab	133.3ab	224.3a	370.1a
A ₂ D ₄	4.0a	53.8ab	135.4ab	232.5a	385.9a
CK-A	5.5a	44.4b	88.8b	161.7a	250.5a
B ₂ C ₂	4.4ab	51.3a	160.9a	218.8ab	307.1a
B ₂ C ₄	4.5ab	58.6a	191.6a	230.2ab	307.6a
B ₂ D ₂	4.4ab	54.9a	152.0a	230.6ab	331.8a
B ₂ D ₄	3.5b	49.3a	163.9a	313.1a	383.8a
CK-B	6.1a	53.7a	86.3b	181.6b	295.4a

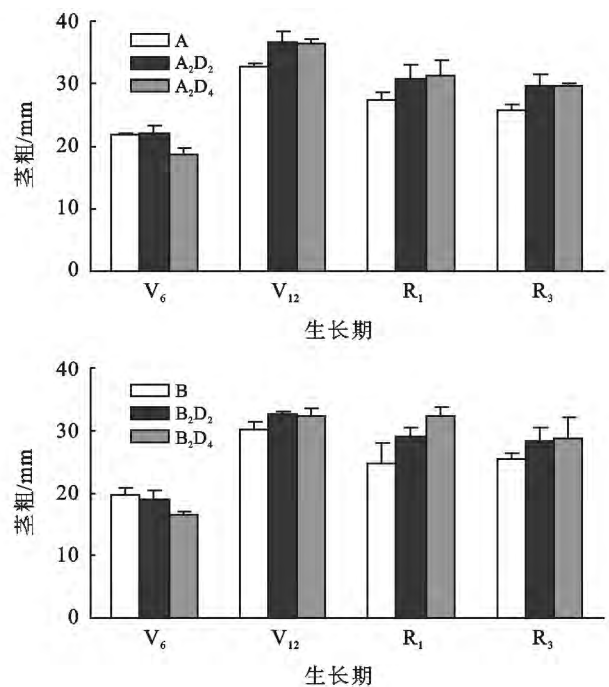
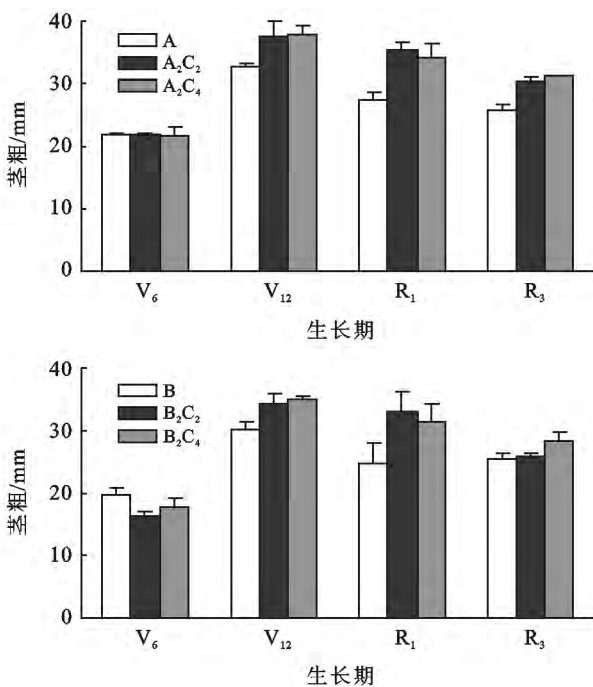


图 3 玉米茎粗随生育期的变化

2.6 玉米产量的差异

间作下的玉米产量明显高于单作处理(图 4)。郑单 958 分别与大豆两个品种间作,各间作处理下的玉米产量显著高于单作,而各间作处理之间的差异不显著。

豫玉 22 分别与大豆两个品种间作,间作比例 2:4 下的玉米产量显著高于单作,2:2 间作下的产量均高于单作,但差异不显著。郑单 958 在单作下的产量稍低于豫玉 22,而在间作下的玉米产量均高于豫玉 22,在各间作处理中,2:4 间作下的玉米产量均高于 2:2 间作,其中,郑单 958 与中黄 24 在 2:4 间作下产量达到最大值。

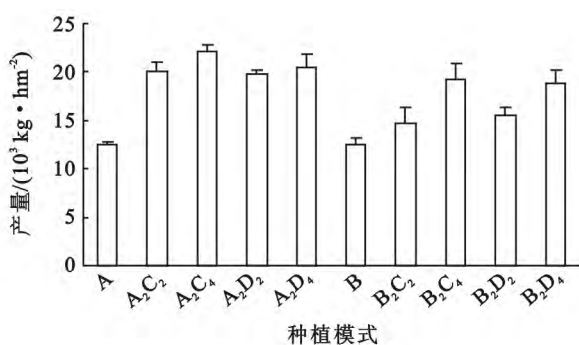


图 4 不同种植模式下玉米的产量差异

3 结果讨论

玉米与大豆间作是我国农业生产系统中的一种典型耕作方式。合理的玉米/大豆间作,由于株型及生理生态方面的差异,使时空与水肥利用产生互补作用,获得比单作更高的产量和经济效益^[10-11]。

3.1 间作下的玉米叶片叶绿素相对含量

叶绿素含量会直接影响光合作用的生产。刘贞琦^[12]等对水稻的研究表明,叶片中叶绿素含量在一定范围内与光合速率成正比。随着叶绿素含量的增加,叶绿体对光能的吸收与转化能力增强,光合速率增大^[13]。间作的种植方式充分考虑了两种作物的优势互补,大豆为矮秆喜阴作物,玉米为高秆喜阳作物,这样的高低搭配立体种植能充分利用光能^[10],使玉米叶绿素含量增加,光合速率增大,光合产物的合成与积累增加。本研究结果表明,玉米和大豆不同品种间作对玉米叶片叶绿素相对含量增加有促进作用,从大喇叭口期开始均高于单作,对玉米起到延缓衰老的作用,同时,长时间的叶片高叶绿素含量必然能够获得高效率的光合作用,为作物生育后期持续生产光合产物,并更多地向籽粒运输提供有效保证。

3.2 间作下的玉米单株叶面积

叶片是植物获取光能的主要器官,叶面积是特定

区域内光合表面的测度,与潜在的光截留量相关,因此具有较大叶面积的植物具有较高的光能利用率^[14]。间作增产的主要原因在于群体的立体结构及波浪式冠层特征,使群体受光面积增大,透光性改善,利于群体内外的气体交换,最终使光合作用增强而产量提高^[15]。本研究结果表明,玉米的两个品种分别与大豆的两个品种间作,玉米的叶面积均高于单作,其中,2:4 间作在生育后期总体上高于 2:2 间作,说明 2:4 间作下,玉米群体受光面积更大,与刘晶等^[16]的研究结果一致。

3.3 间作下的玉米株高和茎粗

玉米的株高和茎粗对产量有较大的影响,株高在很大程度上决定了玉米群体冠层对光的截获能力和光能利用率^[17];茎粗则在很大程度上决定了玉米的抗倒伏能力^[18]。本试验结果显示(表 1),郑单 958 分别与大豆两个品种间作,株高从大喇叭口期开始表现为间作比例 2:2 高于 2:4;豫玉 22 分别和两个品种间作,株高在生育后期表现为间作比例 2:4 高于 2:2。与单作相比较,郑单 958 在生育后期总体表现出间作高于单作,而豫玉 22 总体表现为间作低于单作,说明郑单 958 间作在生育后期较单作具有更高的光能利用率。本研究中郑单 958 分别与大豆两个品种间作,两种间作比例下的茎粗没有明显的规律(图 3);而豫玉 22 分别与大豆两个品种间作,茎粗表现为 2:4 间作总体上高于 2:2 间作。两个玉米品种相比较,郑单 958 茎粗稍高于豫玉 22。从大喇叭口期开始,在各间作处理下,玉米茎粗均高于单作处理,间作模式能有效提高玉米植株抗倒伏能力。

3.4 间作下的玉米干物质积累和产量

随着玉米的生长发育,干物质积累量逐渐增加,生育前期增加速度较快,生育后期依然增加,有利于玉米穗的形成和籽粒灌浆^[19]。本研究中从拔节期到乳熟期,玉米两个品种单作和间作,干物质积累量平稳增加;从乳熟期到蜡熟期,在间作下,豫玉 22 干物质积累量增加幅度较小,而郑单 958 增加幅度较大,均高于豫玉 22。不同生育期因为不同品种的发育特征不同,所以会表现出差异性^[20]。玉米两个品种分别与大豆两个品种间作,干物质积累量总体上都高于单作,间作比例 2:4 高于 2:2,其中,郑单 958 与中黄 24 在 2:4 间作下,玉米干物质积累量在生育后期高于其他处理,产量也呈现出同样的趋势(图 4)。间作可以提高干物质积累量,不同间作品种和比例,增长幅度各异。

4 结论

郑单 958 分别与大豆两个品种间作,从大喇叭口

期开始,玉米叶片叶绿素相对含量、单株叶面积、茎粗和干物质积累量均高于单作,株高总体表现为间作高于单作。豫玉 22 分别与大豆两个品种间作,玉米叶片叶绿素相对含量和茎粗从大喇叭口期开始高于单作,干物质积累量从吐丝期开始高于单作,单株叶面积在吐丝期显著高于单作,其他时期差异不显著,而株高除了在吐丝期高于单作外,其他时期均低于单作处理。郑单 958 在间作下能够生产更多的光合产物,从而使得干物质积累量在生育后期高于豫玉 22,有利于增产。在所选的两个玉米品种和两个大豆品种的不同间作模式中,郑单 958 和中黄 24 在 2:4 间作下更有利于玉米的生长发育,是较为合理的种植模式。

[参 考 文 献]

- [1] 李淑敏, 乔海涛, 吕娇. 大豆/玉米间作下干物质累积动态变化与产量分析[J]. 天津农业科学, 2011, 17(4): 38-41.
- [2] Rodrigo V H L, Stirling C M, Teklehaimanot Z, et al. Intercropping with banana to improve fractional interception and radiation-use efficiency of immature rubber plantations[J]. Field Crops Research, 2001, 69(3): 237-249.
- [3] Li Long, Sun Jianhao, Zhang Fusuo, et al. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping (I): Yield advantage and interspecific interactions on nutrients[J]. Field Crops Research, 2001, 71(2): 123-137.
- [4] 安宏明, 杨浩文, 王红晶, 等. 竞争对不同基因型玉米产量及氮素含量的影响[J]. 天津农业科学, 2011, 17(2): 1-4.
- [5] 史中欣, 柴强, 杨彩虹, 等. 带型配置及施氮量对玉米间作豌豆产量和水分利用效率的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2011, 46(1): 39-43.
- [6] Whitmore A P, Schröder J J. Intercropping reduces nitrate leaching from under field crops without loss of yield: A modelling study[J]. European Journal of Agronomy, 2007, 27(1): 81-88.
- [7] Hauggaard-Nielsen H, Jensen E S. Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability[J]. Field Crops Research, 2001, 72(3): 185-196.
- [8] 陈颖, 邹超亚. 玉米大豆间作复合群体优化配置与生产力研究[J]. 资源科学, 1999, 21(4): 75-79.
- [9] 高阳, 段爱旺, 刘祖贵, 等. 间作种植模式对玉米和大豆干物质积累与产量组成的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(2): 214-221.
- [10] 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.
- [11] 马骥, 马淑云. 玉米大豆间作效应分析[J]. 西北农业大学学报, 1994, 22(4): 80-84.
- [12] 刘贞琦, 刘振业, 马达鹏, 等. 水稻叶绿素含量及其与光合速率关系的研究[J]. 作物学报, 1984, 10(1): 57-61.
- [13] 唐树延, 孟继武, 杨文杰, 等. 大豆光合作用中叶绿素 a, b 间的能量传递[J]. 大豆科学, 1985, 4(3): 185-192.
- [14] 刘琳. 两个品种的冬小麦对水分胁迫和竞争的响应[D]. 陕西杨凌: 中国科学院水土保持与生态环境研究中心, 2007.
- [15] 史振声, 朱敏, 李凤海, 等. 玉米不同品种间作的增产效果研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(2): 107-109.
- [16] 刘晶, 陈颖, 袁远峰, 等. 光, 风, 气对玉米大豆间作群体产量及生态效应的影响[J]. 耕作与栽培, 2008(2): 13-15.
- [17] 东先旺, 刘树堂. 掖单 22 超高产群体光合生理指标的研究[J]. 玉米科学, 1999, 7(3): 58-61.
- [18] 李丽, 王圣毅, 成华伟. 滴灌条件下不同密度对春玉米株高和茎粗的影响[J]. 新疆农垦科技, 2013, 36(4): 3-4.
- [19] 李潮海, 苏新宏, 孙敦立. 不同基因型玉米间作复合群体生态生理效应[J]. 生态学报, 2002, 22(12): 2096-2103.
- [20] 王小林, 张岁岐, 王淑庆, 等. 黄土塬区不同品种玉米间作群体生长特征的动态变化[J]. 生态学报, 2012, 32(23): 7383-7390.

(上接第 320 页)

- [7] 徐林荣, 王磊, 苏志满. 隧道工程遭受泥石流灾害的工程易损性评价[J]. 岩土力学, 2010, 31(7): 2153-2158.
- [8] 史培军. 五论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(5): 1-9.
- [9] 谭万沛. 中国灾害暴雨泥石流预报分区研究[J]. 水土保持通报, 1989, 9(2): 48-53.
- [10] 郑裕国, 张康达. 故障树定性和定理分析的算法[J]. 浙江工业大学学报, 1995, 23(1): 42-47.
- [11] 朱大奇, 于盛林. 基于故障树最小割集的故障诊断方法研究[J]. 数据采集与处理, 2002, 17(3): 341-344.
- [12] 朱继州. 故障树原理和应用[J]. 陕西西安: 西安交通大学, 1989.
- [13] 国土资源部. DZ/T0220—2006 泥石流灾害防治工程勘察规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [14] 周继忠. 灰色关联故障树分析法在基坑工程放坡开挖中应用[J]. 土木工程学报, 2009, 42(8): 109-114.