

秸秆覆盖和根系互作对间作玉米生理特性及产量的影响

张向前¹, 卞新民², 黄国勤³, 赵其国⁴

(1. 安徽省农业科学院作物所, 安徽 合肥 230031; 2. 南京农业大学农学院, 江苏 南京 210095;
3. 江西农业大学农学院, 江西 南昌 330045; 4. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008)

摘要: 通过盆栽试验研究了不同秸秆覆盖水平和玉米/大豆间作系统中根系互作对玉米的影响。结果表明: 秸秆覆盖和根系互作可增加玉米成熟期单株绿叶面积和不同生育时期的叶绿素含量, 且根系互作的作用随覆盖水平的提高而增强; 玉米成熟期的植株含水量和根伤流显著受到覆盖的影响, 而受根系互作的影响不显著 ($P > 0.05$); 覆盖和根系互作可提高玉米光合速率、气孔导度和蒸腾速率, 而降低胞间 CO_2 浓度, 其中相同隔根处理下, T1 和 T0 间的差异显著; 覆盖和根系互作可改善玉米产量各构成因素, 并提高成熟期单株生物产量和经济产量。相关分析发现, 玉米单株绿叶面积、叶绿素含量、根伤流速度、光合速率均与产量存在直线正相关关系。得出, 覆盖和根系互作有利于改善玉米生理特性, 提高产量, 且根系互作的优势作用随覆盖水平的提高而增强。

关键词: 秸秆覆盖; 玉米/大豆间作; 根系互作; 叶绿素; 光合特性; 产量

中图分类号: S513.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)04-0066-07

Effects of straw mulching and root interaction on intercropped maize physiological characteristics and yield

ZHANG Xiang-qian¹, BIAN Xin-min², HUANG Guo-qin³, ZHAO Qi-guo⁴

(1. Crops Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230031, China; 2. Agricultural College, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095, China; 3. Agricultural College, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045, China; 4. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

Abstract: A pot experiment was conducted to study the effect of different straw mulching levels and root interaction in maize/soybean intercropping system on maize. The results showed that straw mulching and root interaction increased the green leaf area per maize plant at maturity stage and the chlorophyll content of different growth stages, and the effect of root interaction was enhanced with the increase of straw mulching level. The plant water content and the root bleeding sap of maize at maturity stage were significantly affected by mulching, but not affected ($P > 0.05$) by root interaction. Mulching and root interaction increased the photosynthetic rate, stomatal conductance, transpiration rate of maize, and reduced the intercellular CO_2 concentration. With the same root separation, the differences between the treatments T1 and T0 were significant. Mulching and root interaction improved maize yield components, and increased biological and economic yields per plant at maturity stage. Correlation analysis revealed that the green leaf area per maize plant, the chlorophyll content, the root bleeding sap rate, and the photosynthetic rate were all linearly positive correlated with maize yield. In conclusion, the mulching and root interaction improved maize physiological characteristics and increased yield. The beneficial effect of root interaction was enhanced with the increase of the straw mulching level.

Keywords: straw mulching; maize/soybean intercropping; root interaction; chlorophyll; photosynthetic characteristics; yield

秸秆覆盖可以改善土壤水、肥、气、热等效应, 是中国北方旱作农业持续稳定发展的有效措施和途径之一^[1-2]。豆禾间作是我国农业生产中应用最为

收稿日期: 2012-10-15
基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (U1033004)
作者简介: 张向前 (1984—), 男, 安徽阜阳人, 博士研究生, 主要从事作物间作方面的研究。E-mail: xiangqian111@163.com。
通讯作者: 黄国勤 (1962—), 男, 江西鹰潭人, 教授, 主要从事种植制度的研究。E-mail: hggjxnc@sina.com。

广泛的一种多元种植模式,这一模式利用不同物种在空间分布和养分需求等方面的优势互补,使间作系统能更有效地利用各种环境因子(光、水分、各种养分等)来获得产量优势^[3-4]。此外,间作相对于单作在作物病虫害的防治,杂草抑制,作物产量、品质的提高,以及减少对栽培环境的负面影响等方面都表现出明显的优势^[5-7]。已有的研究表明,作物间除了地上部之间的相互作用不可忽视外,地下部根系的相互作用更为重要,且是复合群体高产、高效的主要原因之一^[8-10]。为此本文在地上部环境条件一致下(地上部皆为两株玉米和两株大豆)通过隔根试验研究了不同秸秆覆盖水平和根系互作对间作玉米的影响,其目的一是明确间作系统中根系相互作用的效应,二是为秸秆覆盖的增产增效提供理论依据,从而有利于进一步了解间作系统中地下部根系互作的优势作用及秸秆覆盖模式的制定、完善和推广。

1 材料与方法

1.1 试验设计

盆栽试验在江西农业大学红壤试验站露天进行,该试验站位于东经 115°36′,北纬 28°46′,海拔 22.0 m。年平均温度约为 17.7℃,日平均温度 $\geq 10^\circ\text{C}$ 的活动积温为 5 640℃,多年平均降水量 1 624.6 mm。供试塑料桶高 50 cm,下口直径 35 cm,上口直径 45 cm。用聚氯乙烯粘合剂将塑料膜夹于桶中间(以防水胶涂抹使其不漏水)而分隔为两室。设未隔根 NS (No root separation) 和塑料膜完全隔根 FS (Full root separation with plastic film) 两种方式,由于 2 种处理地上部环境条件一致(每桶地上部皆为 2 株玉米和 2 株大豆),因此在同一覆盖水平下 2 种隔根处理间(隔根与未隔根)玉米各测量性状之间的差异均是由地下部根系互作引起的。供试土壤来自江西农业大学红壤试验田,该土壤其成土母质为第四纪红色粘土,土壤含有机质 15.6 g·kg⁻¹,碱解氮 62.1 mg·kg⁻¹,速效磷 14.3 mg·kg⁻¹,速效钾 141.3 mg·kg⁻¹,pH 6.1。

每桶秸秆覆盖量设不覆盖 0 kg·桶⁻¹(T0)、0.1 kg·桶⁻¹(T1)、0.2 kg·桶⁻¹(T2)和 0.3 kg·桶⁻¹(T3)四个水平,覆盖秸秆为自然风干的水稻秸秆,秸秆长度为 10~15 cm。氮肥用量为 0.20 g·kg⁻¹土,磷肥用量为 0.15 g·kg⁻¹土,钾肥 0.10 g·kg⁻¹土,供试肥料分别为尿素、普通过磷酸钙、硫酸钾。每桶装土 50 kg,每室为 25 kg,装土高度约为桶高的四分之三,所有肥料与土混匀一次施入。试验采用随机区组设计,4×2 双因素试验(双因素分别为覆盖水平和隔

根方式,其中 4 种覆盖水平,2 种隔根方式),共 8 种处理,每种处理 4 次重复,共 32 桶,每桶相距皆为 2 m。玉米和大豆间作的株距为 30 cm,供试玉米品种为“川彩糯一号”,大豆品种为“早 50”。玉米和大豆于 2012 年 4 月 2 日播种,并同时于 7 月 15 日收获,玉米和大豆各播 4 粒,出苗后各留苗 2 棵,作物生长期其它管理措施按照当地农业生产习惯进行。

1.2 样品采集与测定

单株绿叶面积:采取画纸称重法,测定时每种处理分别选 4 株生长一致的玉米植株测定,最后取平均值。

叶绿素含量:用手持式叶绿素测定仪 (SPAD-502) 测定,每一时期选取玉米中部相同部位的叶片在上面均匀取 5 个点测定,每种处理测量 4 株,后期测定的为穗位叶,并以平均值计数。

伤流速度:在成熟期选取生长一致的植株 4 株,于晚 18:00 用清洗干净的干燥刀片剪去地上部(切口距地面 10 cm),套上装有脱脂棉的已称好重量的小塑料袋,让脱脂棉贴紧切口,用橡皮筋扎紧袋口,次日 8:00 取下称重,每次收集 14 h,利用脱脂棉前后重量差值,计算伤流速度。

光合特性的测定:在玉米灌浆期,选择晴朗天气上午 10:00—11:30,采用 Li-6400 便携式光合仪分别测定玉米叶片光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率,每个处理选择生长一致的 4 株玉米测定,测定叶片为玉米穗位叶。

生物产量(地上部干物重)的测定:将玉米植株在 105℃下烘 45 min 杀青,再在 85℃下烘干至恒重后称取干物重,每种处理测量 4 株取平均值。产量(经济产量)及其构成因素的测定:成熟期测定穗长、穗粗、穗粒数和千粒重,并计算出产量。

1.3 统计分析

采用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理和作图,采用 DPS7.05 软件和最小显著差数法 (LSD) 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 秸秆覆盖和根系互作对成熟期玉米单株绿叶面积的影响

从图 1 中可以看出,在同一秸秆覆盖水平下,未隔根处理的玉米单株绿叶面积皆高于隔根处理的,在 T0、T1、T2 和 T3 条件下分别增加了 3.6%、5.3%、6.7% 和 7.7%,但差异皆未达到显著水平 ($P > 0.05$),因此可以得出根系互作有利于增加玉米单株绿叶面积,且其作用随秸秆覆盖水平的提高而增加。

从图中亦可看出,在隔根处理下 T1 比 T0,T2 比 T1, T3 比 T2 的单株绿叶面积分别增加了 16.5%、4.5% 和 7.1%,在未隔根处理下分别增加了 18.4%、5.9%和 8.1%,且相同隔根方式下 T1 和 T0 间存在显著差异($P < 0.05$),说明了秸秆覆盖有利于提高玉米单株绿叶面积。

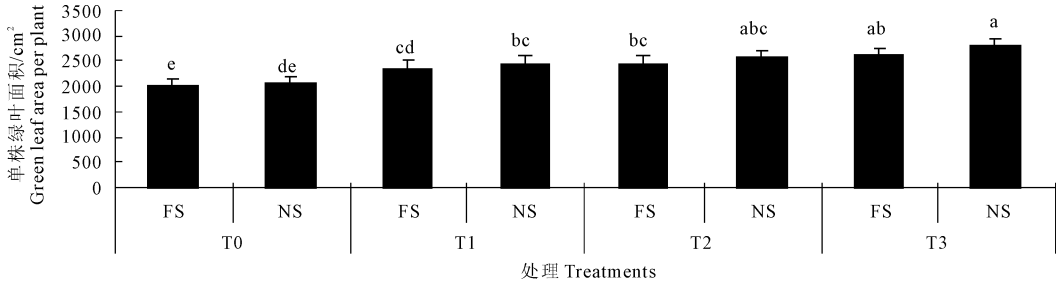


图 1 覆盖和根系互作对玉米成熟期单株绿叶面积的影响

Fig.1 The effects of mulching and root interaction on green leaf area of maize per plant at maturity stage
注:柱状图上的不同字母代表差异达到显著水平($P < 0.05$). Note: Histograms capped with different letters indicate significant difference($P < 0.05$).

2.2 秸秆覆盖和根系互作对玉米叶绿素含量的影响

从表 1 中可以看出,覆盖水平对玉米四个生育时期叶绿素含量的影响皆达到显著水平($P < 0.05$),隔根处理除对玉米大喇叭口期的叶绿素含量影响不显著外,对其余各生育时期叶绿素含量的影响皆达到显著水平,而覆盖水平与隔根处理的交互作用对叶绿素含量的影响皆未达到显著水平。在相同覆盖水平下,同一生育时期未隔根处理的玉米叶绿素含量皆高于隔根处理的,但差异皆未达到显著水平($P > 0.05$)。在同一生育时期,相同隔根处理下,玉米叶绿素含量随秸秆覆盖水平的提高而增加,

并在 T3 覆盖水平下达到最大值,其中 T3 覆盖水平下隔根与未隔根处理玉米大喇叭口期、吐丝期、灌浆期和成熟期的叶绿素含量分别比不覆盖 T0 下的相应处理增加了 14.9%和 15.5%、7.6%和 12.1%、11.0%和 13.4%、12.7%和 16.9%,并均达到显著差异($P < 0.05$)。因此可以得出间作系统中地下部根系互作和秸秆覆盖有利于增加玉米的叶绿素含量。此外从表中数据亦可看出,随着覆盖水平的提高,同一覆盖水平下未隔根与隔根处理的差值总体上呈现逐渐增大趋势,说明秸秆覆盖可以增加玉米大豆根系互作的优势作用。

表 1 覆盖和根系互作对玉米不同生育时期叶绿素含量(SPAD 值)的影响

Table 1 The effects of mulching and root interaction on maize chlorophyll content of different growth stages

覆盖 Mulching	隔根 Root separation	大喇叭口期 Big trumpet period	吐丝期 Silking stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
T0	FS	39.83 ± 1.92 d	51.65 ± 2.29 c	55.35 ± 2.19 e	37.78 ± 2.05 e
	NS	41.15 ± 2.28 cd	52.58 ± 2.23 bc	57.25 ± 2.36 de	38.70 ± 2.35 de
T1	FS	41.28 ± 1.75 cd	52.98 ± 2.22 bc	59.20 ± 2.54 cde	39.30 ± 2.96 cde
	NS	2.95 ± 2.91 bcd	54.30 ± 2.65 bc	61.03 ± 1.49 abcd	42.15 ± 2.78 abcd
T2	FS	43.43 ± 2.91 bc	53.63 ± 2.85 bc	60.85 ± 3.14 bcd	41.30 ± 2.06 bcd
	NS	44.93 ± 1.92 ab	56.13 ± 1.97 ab	63.88 ± 2.83 ab	43.68 ± 2.43 ab
T3	FS	45.75 ± 2.16 ab	55.58 ± 2.58 ab	61.43 ± 3.88 abc	42.58 ± 3.51 abc
	NS	47.53 ± 2.50 a	58.95 ± 2.54 a	64.93 ± 1.36 a	45.25 ± 2.10 a
P	覆盖水平 Mulching	0.0003	0.0041	0.0002	0.0008
	隔根处理 Separation	0.0803	0.0329	0.0131	0.0165
	覆盖水平 × 隔根处理 Mulching × Separation	0.9978	0.7579	0.8996	0.8480

注:表中数据为平均值 ± 标准差。各列后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著($P < 0.05$)。
Note: Values are means ± SD. Small letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.3 秸秆覆盖和根系互作对玉米成熟期植株含水量和根伤流的影响

从图 2 中可以看出,在相同覆盖水平下,未隔根

处理的玉米植株含水量和根伤流速率皆高于隔根处理,在 T0、T1、T2 和 T3 条件下分别增加了 1.4%、1.9%、2.5%、0.3%和 7.7%、4.7%、5.0%、4.5%,

但差异皆未达到显著水平 ($P > 0.05$), 可见根系互作有利于增加植株含水量和伤流速率, 但效果不显著。从图中亦可看出, 在相同隔根处理下, 随着秸秆覆盖水平的提高, 玉米植株含水量和伤流速率皆呈现增加趋势, 且秸秆覆盖处理 T1、T2、T3 和不覆盖处理 T0 之间的差异皆达到显著水平, 其中植株含水量在隔根和未隔根处理下分别增加了 11.4% 和

11.9%、15.4% 和 16.7%、20.2% 和 18.9%, 伤流速率分别增加了 35.9% 和 32.1%、55.1% 和 51.2%、69.2% 和 64.3%, 说明秸秆覆盖相对于不覆盖可以显著增加玉米植株含水量和伤流速率。此外从以上数据分析得出, 随着覆盖水平的提高, 根系互作在提高玉米植株含水量和根伤流方面的效果未表现出增加趋势。

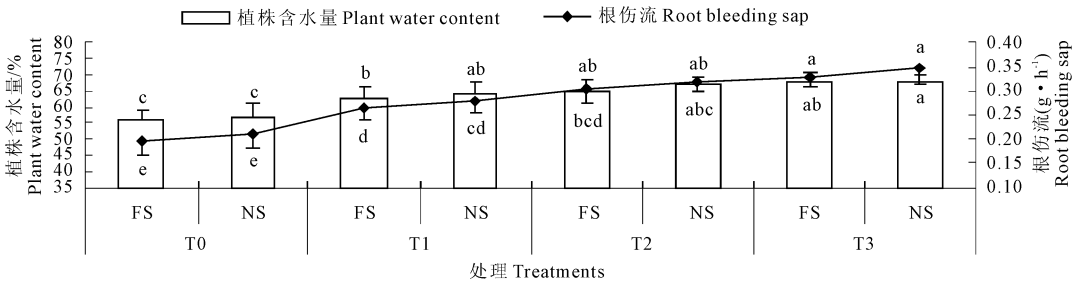


图 2 覆盖和根系互作对玉米植株含水量和根伤流的影响

Fig.2 The effects of mulching and root interaction on water content and root bleeding sap of maize plant

注: 柱状图上的不同字母代表差异达到显著水平 ($P < 0.05$)。 Note: Histograms capped with different letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.4 秸秆覆盖和根系互作对玉米光合特性的影响

从表 2 中可以看出, 覆盖水平和隔根处理对玉米光合速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度和蒸腾速率的影响皆达到显著水平 ($P < 0.05$), 而覆盖水平和隔根处理的交互作用对它们的影响皆不显著 ($P > 0.05$)。在相同秸秆覆盖水平下, 未隔根处理的玉米光合速率、气孔导度和蒸腾速率皆高于隔根处理的, 而胞间 CO₂ 浓度皆低于隔根处理的, 且差异绝大多数不显著, 说明了根系互作有利于改善玉米的光合特性, 但效果不显著。从表中亦可看出, 在相同隔根

处理下, 随秸秆覆盖水平的提高, 玉米光合速率、气孔导度和蒸腾速率皆呈现增加趋势, 而胞间 CO₂ 浓度呈现下降趋势, 并在 T3 覆盖水平下分别达到最大值和最小值。此外, 在相同隔根处理下, T1 和 T0 的玉米光合特性各指标间的差异皆达到显著水平 ($P < 0.05$), T1 比 T0 的光合速率在隔根与未隔根下分别增加了 31.0% 和 36.3%, 气孔导度分别增加了 37.5% 和 37.0%, 胞间 CO₂ 浓度分别下降了 10.9% 和 15.0%, 蒸腾速率分别增加了 21.2% 和 24.1%, 说明了秸秆覆盖可以显著改善玉米的光合特性。

表 2 覆盖和根系互作对玉米灌浆期光合特性的影响

Table 2 The effects of mulching and root interaction on photosynthetic characteristics of maize at filling stage

覆盖 Mulching	隔根 Root separation	光合速率	气孔导度	胞间 CO ₂ 浓度	蒸腾速率
		Photosynthetic rate /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Stomatal conductance /($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	Intercellular CO ₂ concentration ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	Transpiration rate ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
T0	FS	23.30 ± 2.55 e	0.24 ± 0.04 f	137.08 ± 8.74 a	3.45 ± 0.31 g
	NS	25.53 ± 3.81 e	0.27 ± 0.03 ef	133.88 ± 5.45 a	3.73 ± 0.56 fg
T1	FS	30.53 ± 2.37 d	0.33 ± 0.05 de	122.10 ± 6.30 b	4.18 ± 0.39 ef
	NS	34.80 ± 3.36 cd	0.37 ± 0.04 cd	113.75 ± 7.70 bc	4.63 ± 0.40 de
T2	FS	36.70 ± 2.05 bc	0.41 ± 0.03 bc	106.58 ± 5.89 c	5.23 ± 0.43 cd
	NS	39.28 ± 2.94 abc	0.47 ± 0.03 ab	96.23 ± 4.84 d	5.78 ± 0.54 bc
T3	FS	39.50 ± 2.91 ab	0.48 ± 0.07 a	91.20 ± 7.87 de	6.18 ± 0.56 ab
	NS	42.75 ± 3.00 a	0.52 ± 0.04 a	83.80 ± 4.82 e	6.58 ± 0.46 a
P	覆盖水平 Mulching	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	隔根处理 Separation	0.0098	0.0140	0.0069	0.0222
	覆盖水平 × 隔根处理 Mulching × Separation	0.9135	0.9494	0.7687	0.9512

注: 表中数据为平均值 ± 标准差。各列后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05$)。

Note: Values are means ± SD. Small letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.5 秸秆覆盖和根系互作对玉米产量构成因素及产量的影响

从表 3 中可以看出,覆盖水平对玉米产量构成因素及产量的影响皆达到显著水平,隔根处理除对穗长的影响不显著外($P > 0.05$),对玉米产量各构成因素及产量的影响皆达到显著水平,而覆盖水平与隔根处理的交互作用对玉米产量各构成因素及产量的影响皆未达到显著水平。在相同覆盖水平下,未隔根处理的玉米穗长、穗粗、穗粒数、千粒重、单株生物产量和经济产量皆高于隔根处理的,其中单株生物产量和经济产量在 T0、T1、T2 和 T3 条件下分别比隔根处理的增加了 12.0%、12.2%、12.9%、13.0%和 8.4%、8.5%、11.5%、11.1%,说明了根系

互作有利于改善玉米产量各构成因素并增加产量。从表中亦可看出,在相同隔根方式下,随着覆盖水平的提高,玉米产量及其各构成因素皆得到提高和改善,其中在隔根和未隔根处理下,T3 比 T0 的穗长、穗粗、穗粒数、千粒重、单株生物产量和经济产量分别增加了 22.9%、12.0%、13.6%、14.4%、41.1%、31.2%和 23.4%、12.7%、11.6%、15.5%、42.3%、34.5%,并皆达到显著差异,说明了秸秆覆盖亦有利于改善玉米产量各构成因素并增加产量。此外从表中数据分析亦可得出,随覆盖水平的提高,根系互作在提高玉米单株生物产量和经济产量方面的优势作用亦得到增强。

表 3 覆盖和根系互作对玉米产量构成因素及产量的影响								
Table 3 The effects of mulching and root interaction on maize yield components and yield								
覆盖 Mulching	隔根 Root separation	穗长/cm Ear length	穗粗/cm Ear diameter	穗粒数 Kernels per ear	千粒重/g 1000-kernel weight	单株生物产量/g Biological yield per plant	单株经济产量/g Economic yield per plant	
P	T0	FS	14.08 ± 1.1 e	4.08 ± 0.1 f	398.7 ± 10.6 e	245.7 ± 21.1 e	309.0 ± 12.8 e	109.6 ± 10.0 d
		NS	14.75 ± 1.2 de	4.19 ± 0.1 ef	420.9 ± 10.6 de	253.1 ± 15.9 de	346.1 ± 12.5 d	118.8 ± 10.2 cd
	T1	FS	15.34 ± 1.4 cde	4.25 ± 0.1 de	428.7 ± 12.9 d	261.1 ± 15.8 cde	348.8 ± 13.1 d	123.0 ± 12.5 cd
		NS	15.85 ± 1.4 bed	4.37 ± 0.1 cd	430.8 ± 16.1 cd	271.7 ± 16.8abcd	391.2 ± 18.9 c	133.5 ± 16.1 bc
	T2	FS	16.40 ± 0.8 bc	4.36 ± 0.2 de	436.7 ± 11.6 bed	268.5 ± 15.0 bed	388.2 ± 15.4 c	131.0 ± 16.4 bc
		NS	16.85 ± 1.1 abc	4.54 ± 0.1 bc	456.0 ± 15.0 ab	283.4 ± 12.2 ab	438.2 ± 20.4 b	146.0 ± 15.4 ab
	T3	FS	17.30 ± 0.6 ab	4.57 ± 0.1 ab	452.8 ± 15.6 abc	281.1 ± 14.7 abc	435.9 ± 24.9 b	143.8 ± 18.3 ab
		NS	18.20 ± 0.7 a	4.72 ± 0.1 a	469.8 ± 20.1 a	292.3 ± 6.5 a	492.5 ± 14.8 a	159.8 ± 14.0 a
	覆盖水平 Mulching		0.0001	0.0001	0.0001	0.0004	0.0001	0.0019
	隔根处理 Separation		0.1155	0.0024	0.0109	0.0456	0.0001	0.0046
覆盖水平 × 隔根处理 Mulching × Separation		0.9767	0.9165	0.5691	0.9673	0.7118	0.9534	

注:表中数据为平均数 ± 标准差。各列后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著($P < 0.05$)。
Note: Values are means ± SD. Small letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.6 相关性分析

叶片是植物重要的源器官,并与植物体内许多生理生化反应过程密切相关,从图 3A 中可以看出,在一定范围内玉米成熟期单株绿叶面积与单株产量存在直线正相关关系($R^2 = 0.95$),说明了玉米成熟期单株绿叶面积的增加有利于提高玉米产量。叶绿素是植物进行光合作用的物质基础,从图 3B 中可以看出,玉米叶绿素含量与产量存在密切的相互关系($R^2 = 0.94$),其含量的增加有利于提高玉米产量。根系伤流强度可以反映出植株自身的水分状态,伤流强度量越大,根系活力越强,根系主动吸收能力越

强,对延缓叶片衰老和最终产量的形成具有重要作用^[11],从图 3C 中可以看出,玉米伤流速度与产量存在直线正相关关系,其线性方程为 $y = 279.29x + 54.88$ ($R^2 = 0.88$)。从图 3D 中可以看出,光合速率与产量存在直线正相关关系($R^2 = 0.92$),在一定范围内玉米产量随光合速率的增加而增加。上文已证实根系互作和秸秆覆盖有利于增加玉米单株绿叶面积、叶绿素含量、植株含水量和光合速率,因此本相关分析从侧面证实了根系互作和秸秆覆盖可以通过改善玉米的一些与产量密切相关的性状指标来增加产量。

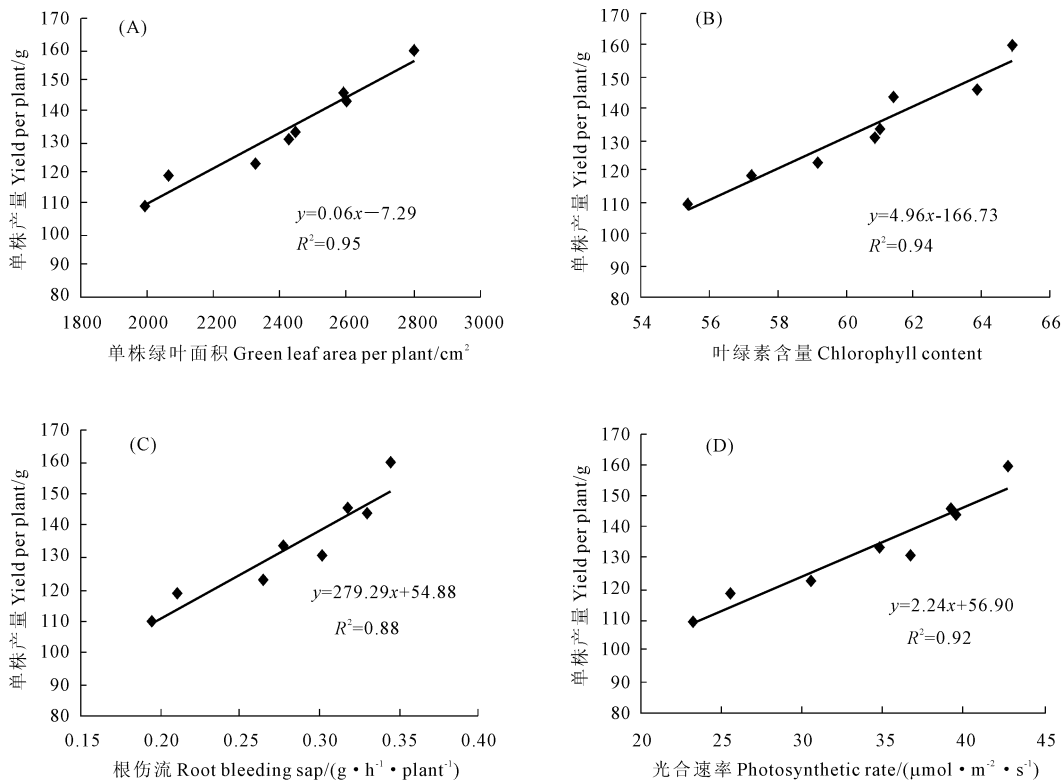


图 3 单株绿叶面积、叶绿素含量、根伤流、光合速率与产量的关系

Fig.3 The relationship of green leaf area per plant, chlorophyll content, root bleeding sap, photosynthetic rate and the yield

3 讨 论

地表覆盖相对于不覆盖,具有明显的蓄水保墒、培肥地力、减少水土流失、调节微域生态系统环境等优势^[12-13]。间作相对于单作的优势作用是间作作物地上部和地下部共同作用的结果^[9]。本试验发现秸秆覆盖和根系互作可以增加玉米成熟期的单株绿叶面积,其中在相同覆盖水平下根系互作的效果不显著,而在相同隔根方式下,覆盖与不覆盖的玉米单株绿叶面积之间的差异达到显著水平。单株绿叶面积的增加在一定程度上可以增加玉米植株的光合面积,有利于更多光合产物的积累。同时本试验也发现,随着秸秆覆盖水平的提高根系互作在增加玉米单株绿叶面积方面的效果亦得到增强。

焦念元等^[14]在研究中发现玉米花生间作可以提高玉米的叶绿素含量,延缓叶片的衰老。在本研究中我们同样发现在相同覆盖水平下,同一生育时期未隔根处理的玉米叶绿素含量皆高于隔根处理,但差异皆未达到显著水平,说明根系互作有利于增加玉米叶绿素含量,但效果不显著。秸秆覆盖亦有利于增加玉米叶绿素含量,其中覆盖处理 T3 与不覆盖处理 T0 之间的差异达到显著水平。这主要可能是由于秸秆覆盖改善了作物对土壤水分和养分的利

用,进而提高了叶绿素含量^[15-16],此外本试验也发现覆盖水平的提高有利于增强根系互作在提高玉米叶绿素含量方面的优势作用。根伤流液是反映根系活力的重要指标之一,伤流液数量的多少反映了根系主动吸收水分和养分能力的强弱^[17-18],伤流不仅受土壤水分、温度、通气状况等外因影响,也与根系发达程度和生命活动强弱等内因有关^[19]。本试验发现,在相同覆盖水平下,未隔根处理的玉米植株含水量和根伤流速率皆高于隔根处理,但差异不显著,说明根系互作有利于增加玉米植株含水量和根伤流量,但效果不显著。此外亦发现覆盖处理的玉米植株含水量和根伤流速率皆显著高于不覆盖处理的,说明秸秆覆盖可以显著增加玉米植株含水量和根伤流速率。这主要可能是由于根系互作和秸秆覆盖可以增加玉米根系的生物量和根系活力,改善了植株的生长状况和对水分养分的利用效率,但根系互作在提高玉米植株含水量和根伤流方面的优势作用未随秸秆覆盖水平的提高而增强。

光合作用是源物质积累的生理基础,较高的光合速率是获得高产的基础和前提^[20-21]。张建华等^[22]在对间作系统中玉米光合作用指标改善的研究中发现,在间作种植模式下,玉米叶片的光合速率、蒸腾速率和气孔导度较单作都有不同程度增大

趋势。高阳等^[23]在研究中发现间作能更有效地利用光能来增加作物产量,其中间作玉米群体总产量比单作增加了 6.0%。付国占等^[24]通过试验比较覆盖与不覆盖条件下深松、免耕、翻耕对光合速率的影响发现覆盖处理平均比不覆盖处理的光合速率提高 26.85%。本研究同样发现根系互作和秸秆覆盖可以增加玉米的光合速率、气孔导度和蒸腾速率,而降低胞间 CO₂ 浓度,其中在相同隔根方式下,覆盖处理与不覆盖处理的各光合指标之间的差异皆达到显著水平,说明秸秆覆盖可以显著改善玉米的光合特性,而在同一覆盖水平下,根系互作对玉米各光合指标的影响绝大多数不显著。齐万海等^[25]研究发现间作系统群体产量优势的 20.5% 来自于地下部分,19.5% 来自于地上部分资源的补偿利用。高飞等^[15]在研究中发现秸秆覆盖对提高玉米产量具有显著作用。本试验同样发现,根系互作和覆盖有利于改善玉米产量各构成因素并提高产量,其中未隔根处理的玉米单株经济产量在 T0、T1、T2 和 T3 下分别比隔根处理的增加了 8.4%、8.5%、11.5% 和 11.2%,在相同隔根方式下,覆盖处理 T3 比不覆盖处理 T0 的单株生物产量和经济产量分别增加了 41.1%、42.3% 和 31.2%、34.5%,并皆达到显著差异。此外本试验亦发现,根系互作在提高玉米单株生物产量和经济产量方面的优势作用随覆盖水平的提高而得到增强。

作物产量的形成与多种生理生化指标有关,本文通过相关分析发现,玉米成熟期的经济产量与单株绿叶面积、叶绿素含量、伤流速度及光合速率皆成直线正相关关系,且拟合方程的决定系数 R^2 皆大于 0.85,反映出彼此之间存在密切的相互联系,从侧面证实了根系互作和覆盖可以通过改善玉米的一些与产量密切相关的指标来增加产量。一方面由于秸秆覆盖和根系互作在优化土壤微生态环境及理化性状,改善作物各生理性状指标提高作物产量方面发挥着重要作用,另一方面由于根系互作的优势作用会随秸秆覆盖水平的提高而得到一定增强,因此在实际农业生产中若能将秸秆覆盖与豆禾间作两种技术相结合,对改善我国耕地质量、提高粮食作物产量、减少化肥施用量、保护农业生态环境、促进我国农业可持续发展具有重要意义。

参 考 文 献:

[1] 李月兴,张宝丽,魏永霞. 秸秆覆盖的土壤温度效应及其对玉米生长的影响[J]. 灌溉排水学报,2011,30(2):82-85.
[2] 沈裕琥,黄相国. 秸秆覆盖的农田效应[J]. 干旱地区农业研究,1998,16(1):45-50.
[3] 张桂国,董树亭,杨在宾. 苜蓿 + 玉米间作系统产量表现及其种

间竞争力的评定[J]. 草业学报,2011,20(1):22-30.
[4] Li L, Zhang F, Li X, et al. Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003,65:61-71.
[5] 李 隆. 间作作物种间促进与竞争作用研究[D]. 北京: 中国农业大学,1999.
[6] 刘天学,李潮海,马新明,等. 不同基因型玉米间作对叶片衰老、籽粒产量和品质的营养[J]. 植物生态学报,2008,32(4):914-921.
[7] 李勇杰,陈远学,汤 利,等. 地下部分隔对间作小麦养分吸收和白粉病发生的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(5):929-934.
[8] Zhang F, Li L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient – use efficiency[J]. Plant Soil, 2003,248:305-312.
[9] Hauggaard – Nielsen H, Jensen E S. Facilitative root interactions in intercrops[J]. Plant Soil, 2005,274:237-250.
[10] 刘广才,杨祁峰,李 隆,等. 小麦/玉米间作优势及地上部与地下部因素的相对贡献[J]. 植物生态学报,2008,32(2):477-484.
[11] 李国强,周 吉,曹治彦,等. 玉米根系伤流量与产量关系研究[J]. 华北农学报,2011,26(6):114-117.
[12] 张 义,谢永生,郝明德,等. 不同地表覆盖方式对苹果园土壤性状及果树生长和产量的影响[J]. 应用生态学报,2010,21(2):279-286.
[13] Hadrian FC, Gerardo SBV, How and CL. Mulch effects on rainfall interception, soil physical characteristics and temperature under *Zea mays* L. [J]. Soil and Tillage Research, 2006,91:227-235.
[14] 焦念元,宁堂原,李增嘉,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.
[15] 高 飞,贾志宽,韩清芳,等. 秸秆覆盖量对土壤水分利用及春玉米产量的影响[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(1):104-112.
[16] 李富翠,赵护兵,王朝辉,等. 旱地夏闲期秸秆覆盖和种植绿肥对冬小麦水分利用及养分吸收的影响[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(1):119-125.
[17] 周小平,张岁岐,杨晓青,等. 玉米根系活力杂种优势及其与光合特性的关系[J]. 西北农业学报,2008,17(4):84-90.
[18] 左启华,张立峰,李会彬,等. 施肥对高寒区饲用玉米产量与营养品质以及伤流液的影响[J]. 西北农业学报,2011,20(1):65-69.
[19] 宋海星,李生秀. 水、氮供应对玉米伤流及其养分含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(6):574-57.
[20] 左振朋,孙庆泉,董鲁浩,等. 爆、甜、糯玉米生育后期叶片光合特性的比较[J]. 作物学报,2009,35(10):1930-1935.
[21] 刘朝巍,张恩和,谢瑞芝,等. 不同施氮方式对宽窄行交替休闲种植玉米产量和光合特性的影响[J]. 草业学报,2012,21(1):34-42.
[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.
[23] 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.
[24] 付国占,王俊忠,李潮海,等. 华北残茬覆盖不同土壤耕作方式夏玉米生长分析[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(4):12-21.
[25] 齐万海,柴 强. 不同隔根方式下间作小麦玉米的竞争能力及产量响应[J]. 中国生态农业学报,2010,18(1):31-34.