

玉米 || 棉花的作物生理特性及根系特征研究

刘婷婷¹,滕元旭¹,杨 涛¹,李 斌¹,万素梅²,陈国栋²,张 伟¹

(1.石河子大学农学院,新疆 石河子 832000;2.塔里木大学植物科技学院,新疆 阿拉尔 843300)

摘 要:为探究不同种植模式对作物生理特性及根系形态特征的影响,本试验以玉米 || 棉花为研究对象,试验设置 3 种植模式处理,分别为单作玉米、单作棉花、玉米 || 棉花。通过对作物株高、叶绿素含量、田间温湿度、根系长度变化及产量等的测定,探究不同种植模式下作物的生长状况及土地当量比。结果表明:单作玉米功能叶叶片平均 SPAD 值高于间作 6.78%,间作棉花功能叶叶片平均 SPAD 值高于单作 1.12%。玉米间作株高平均增长率为 83%,单作平均增长率为 82.9%,表明了玉米间作模式更有利于株高的增长;单、间作玉米田间温度分别为 30.9℃、32.47℃;单、间作棉花田间温度分别为 31.6℃、32.95℃,间作模式在一定程度影响根系分布,不同土层间作物根长显著增加 4.7%。

关键词:玉米;棉花;间作;种植模式;生理特性;根系;田间温湿度;叶绿素含量

中图分类号:S344.2 **文献标志码:**A

Study on physiological and root morphological characteristics of maize and cotton intercropping

LIU Tingting¹, TENG Yuanxu¹, YANG Tao¹, LI Bin¹, WAN Sumei²,
CHEN Guodong², ZHANG Wei¹

(1. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000, China;
2. College of Plant Science and Technology, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300, China)

Abstract: To explore the effects of different planting patterns on physiological characteristics and root morphological characteristics of the crops, in this experiment, monoculture and intercropping maize cotton were selected as the research objects. The experiment was carried out in three planting modes including monoculture crop corn, monoculture crop cotton, intercropped corn and cotton. By measuring the physiological characteristics, chlorophyll content, root characteristics, field temperature, humidity and yield of crops, the crop growth and land equivalent ratio under different planting modes were explored. The results showed that the SPAD value of maize functional leaf was 6.78% higher than that of intercropping and 1.12% higher than that of cotton functional leaf under intercropping. The average growth rate of maize intercropping was 83%, and the average growth rate of monoculture crop was 82.9%, indicating that the maize intercropping model was more conducive to plant height growth. The field temperatures of maize and intercropped cotton were 30.9℃ and 32.47℃, respectively. The field temperatures of cotton and intercropped cotton were 31.6℃ and 32.95℃, respectively. The intercropping pattern affected the root distribution to a certain extent, and the crop root length significantly increased by 4.7% in the middle of different soil layers.

Keywords: maize; cotton; intercropping; planting pattern; physiological characteristics; root system; field temperature and humidity; chlorophyll content

间作是我国传统精耕细作农业的重要组成部分。间作一方面利用科学的种植模式提高土地资源利用率,另一方面能够缓解不同作物间争地的矛盾。在不扩大土地面积的前提下,间作能显著提高粮食产量。与单作相比,间作小区易形成良好的农田小气候,不仅增加作物对光的吸收效益,还有利于作物的生长发育和提高抗旱能力,间作复合群体可增加对阳光的截取与吸收,减少光能浪费^[1]。因此,探究间作种植模式具有重要意义。西北地区是我国粮食和经济作物的重要生产基地,如果能够将优良的能源作物与高附加值经济作物进行间作种植,将有可能在获得大量生物资源的同时获得经济作物及其深加工产品等高附加值产物^[2-3]。棉花是我国的主要经济作物,在整个国民经济和社会发展中占有非常重要的地位^[4]。棉花与粮食及其它作物争地的矛盾已成为制约棉花生产发展的重要因素之一,而棉田间套作是解决棉花与其它作物争地矛盾的最好办法^[5]。此外,玉米是我国第二大粮食品种^[6]。玉米 || 棉花产量优势明显^[7],在生产实践中发挥着重要作用。

为此,本研究以单、间作玉米、棉花为研究对象,测定不同种植模式下各种作物生理特性及根部形态的变化,分析不同种植模式下对作物产量的影响,从而选出合理的种植模式,为今后不同种植模式增产提供理论依据和指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于新疆石河子大学农学院试验站(44°18'50"N,86°03'33"E)进行,海拔437 m,年均日照2 680 h,无霜期160~170 d,≥10℃积温3 693℃,年平均气温为6.1℃,年降雨量180~270 mm,田间持水量24%,地下水位2 m以下,平均地面坡度6%,年辐射量为5 390 MJ·m⁻²,为典型的半干旱类型。土壤为砂壤土,土壤有机质11.21 g·cm⁻¹,全氮0.74 g·kg⁻¹、速效磷(P₂O₅)51.2 mg·kg⁻¹、速效钾(K₂O)193 mg·kg⁻¹、碱解氮61 mg·kg⁻¹。0~20、20~40 cm土壤容重分别为1.29、1.32 g·cm⁻³。

1.2 试验材料

供试作物:玉米:kws3654,生育期138~140 d,中熟型品种;棉花:新陆早72号,生育期123 d,早熟型品种,株型紧凑,适宜密植。

1.3 试验设计

本试验于2018年4月23日播种。以种植模式为因变量的单因素试验,设置单、间作两种种植模

式为对照。棉花 || 玉米:宽膜2.05 m,膜面1.9 m,膜距50 cm,一膜6行(3行玉米,3行棉花),两边离膜边5 cm,株距20 cm,行距60+60+20+20+20 cm;玉米单作:宽膜2.05 m,膜面1.9 m,膜距50 cm,一膜4行,3管,等行距60 cm,两边离膜边5 cm,株距20 cm。棉花单作:窄膜1.40 m,膜面1.30 m,膜距30 cm,一膜4行,行距20+60+20 cm,两边离膜边15 cm,株距10 cm。基肥包括磷酸二铵20 kg·666.7m⁻²,尿素、钾肥各5 kg·666.7m⁻²;采用滴灌方式,水表记录,灌水频率为7 d·次⁻¹,每次灌水量为45 m³·666.7m⁻²。棉花施肥量与玉米施肥量相同,试验地其他管理措施一致。试验地四周设置保护行。两种作物同期播种,各自成熟后收获。

根管设置:采用CI-600进行田间图像采集,透明观察管随播种时沿水平地面45°斜角埋置于作物行间,扫描器于土壤0~20 cm和20~40 cm处各采集一次。利用WINRHIZOTRON2015a(上海泽泉有限公司,The Unitedstates)对根系图像进行分析,得到根系根长参数。

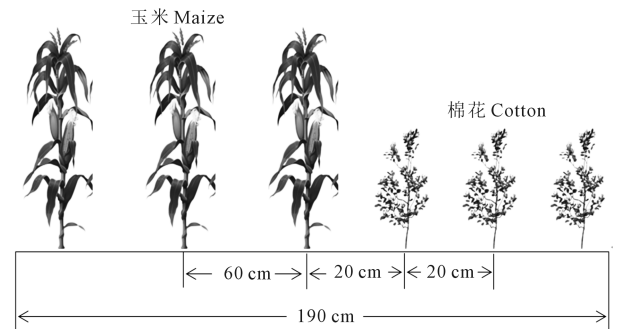


图 1 玉米 || 棉花株行距配置示意图
Fig.1 Line spacing of maize and cotton plants

1.4 测定内容与方法

1.4.1 作物株高测定 每个处理中随机选取5株具有代表性的植株,用标记卡标记待测植株。5月29日开始测量,从地面开始到玉米叶片自然伸展时的值为株高;玉米抽雄后用卷尺测量地面到雄穗顶端的值作为株高。计算平均值并记录,周期为15 d一次。

1.4.2 叶绿素相对含量测定 采用SPAD-502叶绿素仪测定叶绿素相对含量。在不同处理中分别选取长势良好的6株玉米、棉花,用SPAD-502叶绿素仪测定玉米棉花功能叶的SPAD值,每个叶片测定3次,计算平均值。

1.4.3 温、湿度测定 每个小区随机取5株植株,利用温、湿度计分别测量不同种植模式下玉米上、中、下部及棉花上、中部温、湿度。

1.4.4 根系测定 利用CI-600测定根系参数。透明塑料管呈45°斜角插入土中,埋置于作物行间,采

集 0~20 cm 和 20~40 cm 处根系图像,每 15 天采集一次。通过 WINRHIZOTRON2015a 对根系图像进行分析,得到根系图像数据。

1.4.5 产量测定 调查各小区棉花实际密度,每个处理间分别收获记产。每小区取样 10 株考种,测定单铃重、铃数等产量性状,单株结铃数为以上样本的平均单株结铃数。

玉米产量测定:测定连续 5 株玉米的果穗,果穗经自然风干后,测千粒重及穗粒数。

1.4.6 土地当量比 应用土地当量比 (LER) 作为衡量间作产量优势的指标,计算公式为:

$$LER=Y_{ia}/Y_{sa}+Y_{ib}/Y_{sb}$$

式中, Y_{ia} 表示作物 a 的间作产量, Y_{sa} 表示作物 a 的单作产量, Y_{ib} 表示作物 b 的间作产量, Y_{sb} 表示作物 b 的单作产量;当 $LER>1$ 时,表明间作有优势;当 $LER<1$ 时,表明间作为劣势^[8]。

种间相对竞争能力是表示一种作物相对于另一种作物的资源竞争能力大小。

$$A_{ms}=Y_{im}/(Y_{ms}F_{im})-Y_{is}/(Y_{ms}F_{is})$$

式中, A_{ms} 为玉米相对棉花的资源竞争力, F_{im} 、 F_{is} 分别为间作玉米、棉花所占面积比例。当 $A_{ms}>0$ 时,表明玉米竞争能力强于棉花, $A_{ms}<0$ 时反之。

1.5 数据统计及分析

采用 Microsoft Excel 2010、Sigmaplot 12.5 和 SPSS 软件分析处理试验数据并作图。

2 结果与分析

2.1 不同种植模式下玉米棉花株高的动态变化

株高是影响棉花生长发育的重要指标,植株高矮对棉花的株型、倒伏、光能利用率以及棉花的产量都有一定影响^[9]。由图 2(a)可知,单、间作玉米株高变化中整体呈上升趋势,间作玉米株高均高于

单作玉米。在 5 月 29 日至 7 月 15 日期间株高快速增长,且间作增长率为 43.2%,单作增长率为 41.4%,间作较高于单作模式株高增长率,表明了玉米间作模式更有利于株高的增长。7 月 25 日之后玉米株高增长缓慢甚至停止增长;由图 3(b)看出,单、间作棉花种植模式中均呈现“S”型曲线,在 6 月 30 日前单、间作棉花株高差异不显著,株高前期增长较为缓慢,中期株高快速增长,后期株高达到平稳,且单作棉花的株高较高于间作棉花。主要是由于间作环境下,玉米生长较快,对棉花有遮荫的影响,导致单作棉花更具有优势。

2.2 不同种植模式 SPAD 值的动态变化

叶绿素是植物进行光合作用的物质基础,叶绿素在植物体内负责光能的吸收、传递和转化,功能叶片中叶绿素含量的高低直接决定了植物光合作用的强弱,其含量变化与光合速率的衰减有密切关系^[10]。由表 1 看出,单、间作玉米 SPAD 值呈上升趋势,但上升趋势并不显著,单作玉米峰值为 59.28,间作玉米峰值为 59.07。间作模式下玉米有更大的增长潜力。

单、间作棉花的 SPAD 值在 7 月 15 日差异显著,单作棉花的峰值为 55.98,间作棉花的峰值为 57.77,与单作模式相比,间作棉花的 SPAD 值较高于单作棉花。单作模式下棉花增长率最高为 1.2%,而间作种植模式下棉花的增长率最高为 3.2%。由此可看出,间作改变了作物群体光能利用率,间作相对于单作有利于增加作物功能叶叶绿素含量。

2.3 不同种植模式冠层温、湿度的变化

作物冠层温度的高低与外界环境、作物内部的代谢状况及外部形态密切相关。田间空气相对湿度是衡量土壤及植物水分亏缺的重要指标^[11]。

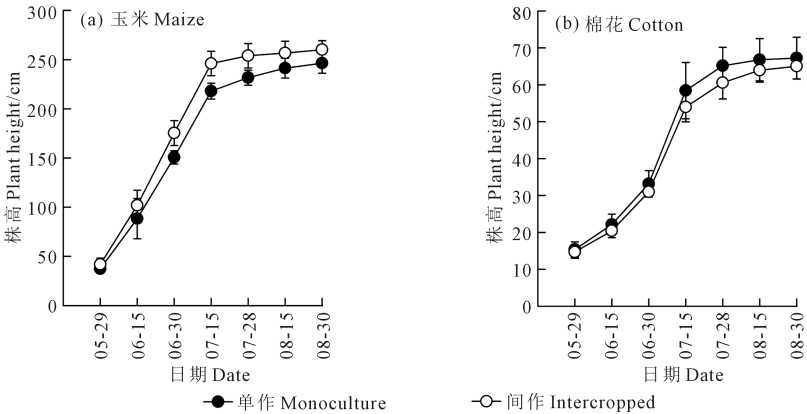


图 2 单、间作玉米 (a) 与单、间作棉花 (b) 株高的变化

Fig.2 Change in height of intercropped and monoculture maize (a) and cotton (b)

由表 2 可知,间作玉米上、中、下部温度均高于单作玉米,且具显著差异;间作棉花中部温度高于单作棉花,但无显著差异;而间作棉花上部温度显著高于单作玉米。由此表明,间作棉花、玉米的通风状况比单作棉花、玉米表现更好。

间作玉米中、下部湿度低于单作玉米,中部湿度高于单作玉米,但均不具显著差异;间作棉花中、上部相对湿度均大于单作棉花,但差异不显著。由此表明,玉米 || 棉花系统相对湿度与单作玉米或单作棉花并无明显差异。

2.3 不同种植模式玉米根系的动态变化

2.3.1 单、间作玉米 0~20 cm 土层厚度中根长的变化 根系是植物从土壤吸收水分、养分供给植物生长发育所需的重要途径。由图 3 可知,玉米根长随着时间推移呈上升趋势,在 7 月 15 日后,单、间作玉米的根长增长速率减慢。与间作相比,单作玉米在 6 月 30 日前增长速率大于间作速率,增长率分别为 55.6%、55%。8 月 30 日后,间作玉米与单作玉米根长分别为 262.8、245.2 cm,呈显著性差异。

2.3.2 单、间作玉米 20~40 cm 土层厚度中根长的变化 由图 4 可知,在 5 月 29 日至 8 月 30 日期间,玉米根长不断增加,总体呈“S”型增长,根长增长速率在 7 月 28 日后逐渐减慢。5 月 29 日至 6 月 30 根长无显著差异,间作玉米根长在生长后期大于单作玉米。

表 1 单、间作玉米 SPAD 值的动态变化

Table 1 Dynamic SPAD changes of monoculture and intercropping corn

种植模式	SPAD 值			
	06-02	06-15	06-30	07-15
单作玉米 Monoculture corn	52.12±0.8a	53.50±1.5a	56.20±1.2a	59.28±0.8a
间作玉米 Intercropping corn	52.33±0.6a	54.07±0.7a	56.65±0.4a	59.07±0.6a
单作棉花 Monoculture cotton	54.58±1.4a	55.20±0.7a	55.88±0.4a	55.98±0.4a
间作棉花 Intercropping cotton	54.78±1.2a	55.57±0.9a	56.00±0.4a	57.77±0.6b

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

Note:The different lowercase letters within the same column indicate significant difference (P<0.05).

表 2 玉米 || 棉花温湿度的变化

Table 2 Changes in temperature and humidity of corn and cotton

间作模式	下部		中部		上部	
	温度 Temperature/℃	湿度 Humidity/%	温度 Temperature/℃	湿度 Humidity/%	温度 Temperature/℃	湿度 Humidity/%
间作玉米 Intercropping corn	32.0±0.5a	35.4±1.0a	32.8±0.6a	35.5±0.7a	32.6±0.6a	35.3±0.6a
单作玉米 Monoculture corn	31.0±0.5b	35.5±0.9a	30.9±0.3b	35.6±0.3a	30.8±0.3b	35.1±0.4a
间作棉花 Intercropping cotton	—	—	32.9±0.2a	36.5±1.3a	33.0±0.3a	36.4±1.0a
单作棉花 Monoculture cotton	—	—	31.5±0.6a	35.4±0.4a	31.7±0.6b	35.3±0.3a

注:不同种植模式同一部位比较。同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

Note: Compared with the same part in different planting modes. The different lowercase letters within the same column indicate significant difference (P<0.05).

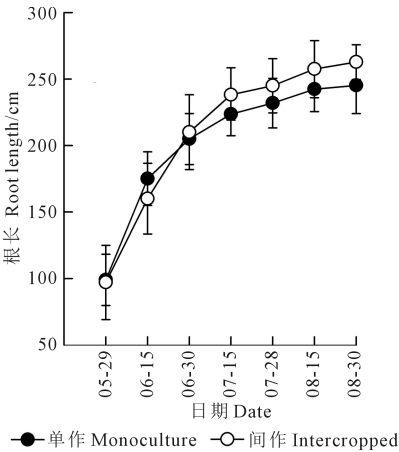


图 3 单、间作玉米 0~20 cm 土层根长的变化
Fig.3 Changes of maize root length in 0 to 20 cm soil layer under monoculture and intercropping mode

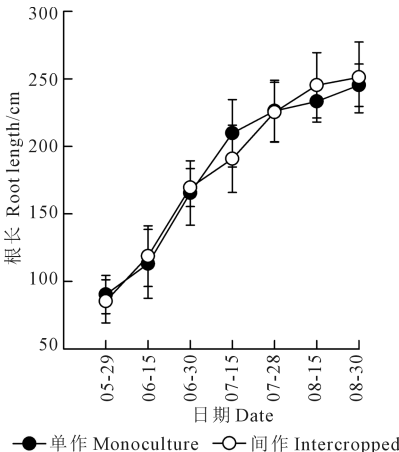


图 4 单、间作玉米 20~40 cm 土层根长的变化
Fig.4 Change of maize root length in 20 to 40 cm soil layer under monoculture and intercropping

2.4 单、间作棉花根系动态变化

2.4.1 单、间作棉花 0~20 cm 土层中根长变化 由图 5 可知,在 0~20 cm 土层中,单、间作棉花根长整体呈上升趋势,但是单作棉花根长在 7 月 28 日前增长速率较快,之后增长速率与间作棉花趋于一致。单作棉花的根长在 7 月 15 日之前大于间作棉花,而 7 月 15 日后间作棉花根长大于单作棉花。

2.4.2 单、间作棉花 20~40 cm 土层中根长变化 由图 6 可知,单、间作棉花的根长长度都呈现先快速增长,后缓慢增长的趋势。6 月 30 日前,间作棉花根长的增长速率低于单作棉花。在 7 月 15 日至 8 月 30 日内,单、间作棉花根长增长缓慢,单作棉花根长大于间作棉花。单、间作棉花根长分别为 238.9、246.3 cm。

2.5 单、间作产量变化

2.5.1 单、间作模式对棉花产量的影响 由表 3 可知,单作棉花单株平均结铃数 6 个,间作棉花 5 个。与间作相比,单作棉花单铃重比间作棉花高 0.2 g。单作棉花产量比间作高 17.2%。

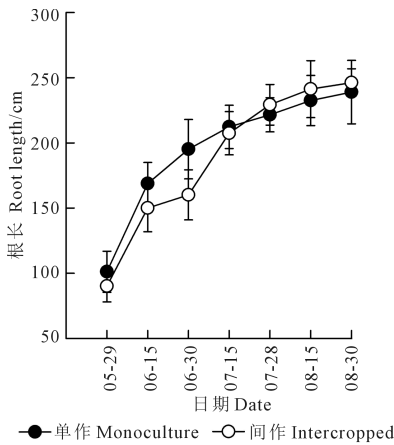


图 5 单、间作棉花在 0~20 cm 土层根长的变化
Fig.5 Changes of root length in 0~20 cm soil under monoculture and intercropping cotton

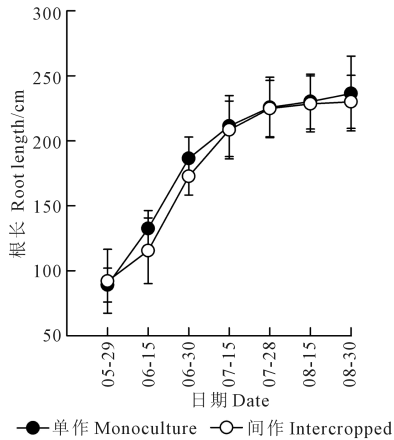


图 6 单、间作棉花在 20~40 cm 土层根长变化
Fig.6 Changes of root length in 20~40 cm soil under monoculture and intercropping cotton

2.5.2 单、间作模式对玉米产量的影响 由表 4 看出,间作模式玉米平均粒数高于单作。间作玉米粒数峰值为 745 粒,单作玉米粒数峰值为 748 粒,但间作玉米平均粒重高于单作。单作玉米平均粒重为 265.68 g。间作玉米平均粒重为 274.1 g。

2.6 土地当量比与作物竞争优势

由表 5 看出,间作模式下 LER 为 1.64,大于 1,说明间作优势明显;间作模式下种间相对竞争力为 6.01,表明玉米的竞争能力强于棉花。由此表明,间作可增加单位面积的作物产量。

3 讨 论

不同种植模式对作物的株高、SPAD 值、产量及根系长度有显著影响。单作棉花能够充分利用光能,光合效率高从而产量较高;间作模式植株种植数量较多,能充分利用空间和发挥更大的群体优势,但间作棉花由于玉米的遮荫作用使生长发育延缓,导致产量降低。前人研究表明,玉米 || 油菜产量高于相应单作,间作更具有产量优势^[12]。本试验发现,间作玉米较单作玉米在株高、SPAD 及产量方面都更具优势,间作更加合理地利用了光热土资源。

表 3 不同种植模式棉花产量变化

Table 3 Effect of different planting patterns on cotton yield				
种植模式 Planting pattern	每株铃数/个 Number of bolls per plant	单铃重/g Single bell weight	收获株数/株 Number of harvested plants	产量/kg Yield
单作 Monoculture	6	5.2	104	3214.6
间作 Intercropping	5	5.0	101	2742.7

表 4 不同种植模式玉米粒重变化

Table 4 Grain weight of maize under different planting patterns		
种植模式 Planting pattern	玉米穗粒数/个 Corn kernel number	玉米千粒重/g Corn 1000-grain weight
单作 Monoculture	702.2	378.4
间作 Intercropping	711.8	385.6

表 5 玉米 || 棉花对土地当量比的影响

Table 5 Effect of intercropping of maize and cotton on equivalent ratio of land			
间作模式 Planting pattern	土地当量比/% Land equivalent ratio	竞争优势 Competitive advantage /(kg · hm ⁻²)	间作产量优势 Intercropping yield advantage /(kg · hm ⁻²)
玉米 棉花 Corn cotton	1.64	6.01	37326.35

单作棉花总体表现优于间作棉花,是因为间作棉花受到玉米生长的影响,光合作用下降从而导致间作棉花株高、SPAD、产量都有不同程度的下降。玉米 || 棉花对两种作物的根长都有不同程度的促进,说明间作系统能充分地利用地下部土壤空间;产量方面,单作棉花高于间作棉花,单、间作间差异显著;间作玉米高于单作玉米,但单、间作间差异不显著。LER=1.64,说明间作模式,具有更高的土地利用效率。

4 结 论

在本研究中,不同种植模式下两种作物功能叶的叶绿素含量较单作显著升高,间作棉花的光照强度受到了明显抑制。间作系统温度低于单作,湿度高于单作,其原因可能是间作与单作时的群体结构不同,高位作物对矮位作物有一定的遮阴作用,导致农田小气候环境条件出现差异,从而影响了作物叶片的光合速率和生物量;同时也说明间作系统中玉米的竞争能力更强,种间的促进作用以牺牲矮位作物生长为代价。与单作相比,间作模式不同土层中根长明显增加,相对发达的群体根系组成是高产的有力保障^[13],因此,可通过根系的互补作用,利用作物自身的潜力,提高间作模式的空间有效性。

参 考 文 献:

[1] 何子建. 膜下微咸水滴灌棉田间作水盐肥及棉花生长特性研究[D]. 西安:西安理工大学, 2018.

[2] 李隆.间套作强化农田生态系统服务功能的研究进展与应用展望[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(4):403-415.

[3] 左元梅, 张立祯, 李隆. 西北干旱区利用间套作促进能源植物的高产高效[J]. 生命科学, 2014, 26(5): 447-450.

[4] 党小燕, 刘建国, 帕尼古丽, 等. 不同棉花间作模式中作物养分吸收和利用对间作优势的贡献[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 513-519.

[5] 王军. 棉花简化栽培技术[J]. 农民致富之友, 2017, (16): 158.

[6] 高云, 纪高洁, 矫健. 中国玉米种子市场供需分析[J]. 中国种业, 2018(10): 4-8.

[7] 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.

[8] 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 (2): 477-484.

[9] 刘双方, 江天才, 王宝全, 等. 不同种植模式对间作棉花生长发育和产量的影响[J]. 塔里木大学学报, 2016, 28(1): 72-76.

[10] 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(1): 57-62.

[11] 雷金银, 金建新, 桂林国. 马铃薯-玉米间作对土壤和大气温湿度的影响[J]. 河南科技学院学报(自然科学版), 2018, 46(2): 1-4, 17.

[12] 唐明明, 董楠, 包兴国, 等. 西北地区不同间套作模式养分吸收利用及其对产量优势的影响[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(5): 48-56.

[13] 平文超, 张永江, 刘连涛, 等. 不同密度对棉花根系生长与分布的影响[J]. 棉花学报, 2011, 23(6): 522-528.

(上接第 159 页)

参 考 文 献:

[1] 王彬,张俊丽,徐学欣,等.不同冬小麦品种超晚播节水栽培的物质积累和水分利用特征[J].中国农业大学学报,2017,22(2):1-11.

[2] 王荣栋,尹经章.作物栽培学(第二版).北京:高等教育出版社,2015.

[3] 李放.春麦冬播的优越性和田间技术的初步研究[J].中国农业科学,1961,2(1):20-23.

[4] 李灿云,谢学林.在北疆种植包蛋春麦是解决棉粮倒茬的一条新途径[J].新疆农垦科技,1996,19(1):16-18.

[5] 赵俊芳,赵艳霞,郭建平,等.基于干热风危害指数的黄淮海地区冬小麦干热风灾损评估[J].生态学报,2015,35(16):5288-5293.

[6] 成林,张志红,方文松.干热风对冬小麦灌浆速率和千粒重的影响[J].麦类作物学报,2014,34(2):248-254.

[7] 王彬,张萌,陈景天,等.超晚播节水栽培冬小麦品种花后光合与灌浆特性[J].科技导报,2017,35(18):86-9.

[8] 吉林省春小麦冬播技术考察团.春小麦冬播技术考察报告[J].吉林农业科学,1960(5):4-12.

[9] 周克宽,徐豹.春麦转化为冬麦的试验[J].科学通报,1954,(3):72-75.

[10] 孙凤舞.春小麦近冬播种问题综述[J].东北农学院学报,1961(4):33-39.

[11] 乌鲁木齐垦区生产办公室.春小麦冬播的栽培技术[J].新疆农业科学通报,1958(4):142-143.

[12] 蒋琳,王中奇,李志云.包蛋麦滴灌高产栽培技术[J].新疆农垦科技,2014(10):8.

[13] 吴金芝,黄明,王志敏,等.极端晚播对小麦籽粒产量、氮素吸收利用和籽粒蛋白质含量的影响[J].应用生态学报,2018,29(1):185-192.

[14] 吴金芝,黄明,李友军,等.限水灌溉对极端晚播密植小麦籽粒产量、蛋白质含量和水氮利用效率的影响[J].麦类作物学报,2017,37(10):1349-1357.

[15] 邵庆炉,薛香,梁云娟,等.暖冬气候条件下调整小麦播种期的研究[J].麦类作物学报,2002,22(2):46-50.

[16] 陈素英,张喜英,毛任钊,等.播期和播量对冬小麦冠层光合有效辐射和产量的影响[J].中国生态农业学报,2009,17(4):681-685.

[17] 张维诚,王志和,任永信,等.有效分蘖终止期控制措施对小麦群体质量影响的研究[J].作物学报,1998,24(6):903-906.

[18] 张泽,吕新.滴灌水氮耦合对北疆滴灌春小麦生长的影响[J].灌溉排水学报,2011,30(5):116-119.