

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.180132

赵建华, 孙建好, 李伟绮. 玉米播期对大豆/玉米间作产量及种间竞争力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(11): 1634–1642

ZHAO J H, SUN J H, LI W Q. Effect of maize sowing date on yield and interspecific competition in soybean/maize intercropping system[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(11): 1634–1642

玉米播期对大豆/玉米间作产量及种间竞争力的影响*

赵建华, 孙建好, 李伟绮

(甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所 兰州 730070)

摘要: 在间作系统中, 间作作物间合理的共生期可有效提高间作系统作物对时空资源的高效利用。而间作作物播期直接影响间作作物间共生期的长短, 由此导致的时空生态位分离会直接影响到作物生产力和种间相互作用。为明确大豆/玉米间作系统中玉米播期对间作作物产量、系统生产力及间作作物间资源竞争力的影响, 本研究设置3个玉米播期处理——M1(4月24日与大豆同时播种, 与大豆共生期165 d)、M2(5月4日播种, 与大豆共生期150 d)、M3(5月14日播种, 与大豆共生期140 d), 通过对单间作条件下作物产量、干物质累积的测定, 研究了玉米不同播期下大豆/玉米间作系统作物产量、系统生产力、共生期内种间竞争力变化。结果表明: 3个播期处理不影响间作产量优势, 土地当量比(land equivalent ratio, LER)均大于1; 但随播期延迟, LER变小, M1处理LER最大, 达1.37。玉米播期变化对间作大豆产量无显著影响; 随玉米播期延迟, 间作玉米产量下降, 间作系统生产力随之下降。玉米播期对间作大豆产量构成无显著影响; 随玉米播期延迟, 间作玉米的百粒重随之减小, M3的百粒重(26.1 g)仅为M1(36.6 g)的71%。玉米播期延迟抑制了大豆玉米共生后期玉米资源竞争力的恢复, 在大豆和玉米共生前期, 大豆的资源竞争力强于玉米, 而共生后期(9月至收获), 玉米的资源竞争力显著提升; M3处理大豆相对于玉米的资源竞争力(aggressivity, A_{sm})始终高于M1和M2, 玉米相对拥挤指数随播期延迟而降低, 表现为M1>M2>M3, 而竞争比率为M3>M2>M1。因此, 就本研究而言, 甘肃河西灌区大豆/玉米间作系统中4月24日大豆和玉米同时播种是此系统间作作物的适宜播期, 两作物同时播种可有效稳定间作作物产量及系统生产力, 间作玉米播种延迟会导致间作系统生产力下降。

关键词: 大豆/玉米间作; 玉米播期; 共生期; 产量; 种间竞争力; 生态位

中图分类号: S181 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2018)11-1634-09

Effect of maize sowing date on yield and interspecific competition in soybean/maize intercropping system*

ZHAO Jianhua, SUN Jianhao, LI Weiqi

(Institute of Soil Fertilizer and Water-Saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

Abstract: A reasonable co-growth period between intercrop species can effectively improve the use efficiency of soil resources in time-space fabric. However, sowing date of intercrop plants directly determines the length of co-growth period of intercrop plants. This can directly affect intercropped plant productivity and interspecific interaction due to niche differentiation over time. Thus, a

* 国家重点研发计划项目(2017YFD0201808-02)、国家公益性行业农业专项(201103003-09)和甘肃省农业科学院青年基金项目(2016GAAS33)资助

赵建华, 主要从事生物多样性与资源高效利用方面的研究。E-mail: zhaojianhuatt@163.com

收稿日期: 2018-01-31 接受日期: 2018-06-03

* This research was supported by the National Key Research and Development Project of China (2017YFD0201808-02), the Special Fund for Agro-scientific Research in the Public Interest of China (201103003-09) and the Youth Foundation of Gansu Academy of Agricultural Sciences (2016GAAS33).

Corresponding author, ZHAO Jianhua, E-mail: zhaojianhuatt@163.com

Received Jan. 31, 2018; accepted Jun. 3, 2018

study was carried out to determine the effect of sowing date of intercropped maize on yield, productivity and interspecific competitiveness of crops of soybean/maize intercropping system. A total of three sowing dates of maize were set up, which were 24th April (M1, co-growth period of maize and soybean was 165 days), 4th May (M2, co-growth period of maize and soybean was 150 days) and 14th May (M3, co-growth period of maize and soybean was 140 days). Then yield and dry matter accumulation of crops were investigated in both intercropping and sole systems, and system productivity and interspecific competitiveness also analyzed. The result showed that yield of soybean/maize intercropping was not affected by maize sowing date. Land equivalent ratio (LER) of all intercropping systems was greater than 1. However, LER value decreased with delay of sowing date of intercropped maize. The largest LER was for M1 (1.37) treatment. There were no significant differences in yields and yield components of intercropped soybeans with different maize sowing dates. Yield of intercropped maize and productivity of intercropping system decreased with delay of sowing date of intercropped maize. The 100-grain weight of intercropped maize decreased with delay of sowing date, 100-grain weight of M3 (26.1 g) was 71% that of M1 (36.6 g) treatment. The competitive ability of intercropped maize decreased during later co-growth period due to delay in sowing date. During early co-growth period, the competitive ability of soybean for growth resources was stronger than that of maize. However, in later co-growth period (from September to harvest), the competitive ability of maize significantly increased and was greater than that of soybean. However, the aggressiveness of soybean relative to maize (A_{sm}) under M3 was significantly higher than those under M1 and M2. Meanwhile, relative crowding coefficient of maize also was higher than that of soybean. This decreased with delay in sowing date of intercropped maize in the order of M1 > M2 > M3 and with competitive ratio values of M1 > M2 > M3. Therefore, the most reasonable sowing date of maize in soybean/maize intercropping system in Hexi Corridor of Gansu Province was on 24th April. Here, yield of intercropped plants and the productivity of intercropping systems were maintained. The delayed sowing dates of maize decreased yield and productivity of intercropping system.

Keywords: Soybean/maize intercropping system; Sowing time of maize; Co-growth period; Yield; Interspecific competition; Niche

间套作由于较单作有明显的产量优势, 高效利用土地和农业资源, 稳定系统生产力^[1], 控制病虫害^[2-4]等特点, 而受到广泛的关注, 尤其像豆科/禾本科间作, 如蚕豆(*Vicia faba* L.)/玉米(*Zea mays* L.)^[5]、豌豆(*Pisum sativum* L.)/玉米^[6]、大豆[*Glycine max* (Linn.) Merr.]/玉米^[7]等, 由于其高产、资源高效利用而被甘肃河西灌区农民普遍接受。

基本的生物学原理认为, 当两个作物生长在一起时, 种间竞争作用和促进作用总是相伴存在的^[8]。间套作正是为资源需求特性不同的作物提供了时间和空间上的生态位分离, 促成了种间相互作用对相关资源的高效利用^[9-11]。种间竞争作用是间作优势发挥的重要决定因素, 如齐万海等^[12]通过根系分隔试验分析了小麦(*Triticum aestivum* L.)/玉米间作中竞争力与产量的关系, 认为提升小麦的竞争优势是提高小麦/玉米间作群体整体产量的关键。因此, 在间作系统中, 合理的种间配置以满足组作物对时空资源的高效利用是间作优势发挥的关键。譬如, 不同带型的间作群体通风、透光等条件存在差异, 竞争与互补程度不同, 对空间水肥等资源的利用也不同, 因而增产效应也不同^[13]。不同作物与玉米间作, 由于其共生期的差异, 对于玉米的生长及产量必然造成差异^[14]。这些表明通过改变间作作物空间布局, 间作作物组合搭配等均改变间作群体种间互作效应, 从而影响间作产量优势; 而间作作物播期变化也是影响间作系统生产力的重要因素, 其实质上是改变

了间作作物共生期, 从而导致间作作物间时空生态位分离^[15-16]。例如, 雍太文等^[17]针对玉米大豆套作的研究发现, 玉米适当晚播有利于玉米产量提高; 徐婷等^[18]通过两年的田间试验, 研究了在玉米大豆套作模式下, 从 6 月 15 日大豆适期播种, 每隔 10 d 一个处理, 研究大豆晚播对大豆产量的影响, 发现大豆适当晚播有利于大豆产量提高。李志贤等^[19]研究甜玉米间作大豆表明, 甜玉米比大豆晚播 55 d 和 40 d, 甜玉米的辐射利用率较单作分别提高 29% 和降低 24%。Francis 等^[20]研究大豆间作玉米指出, 玉米比大豆早播 5 d 和 10 d, 玉米的产量与相同播期的单作相比降低幅度更大。可见, 作物适宜播期选择是间作作物种间竞争力优化, 间套作产量优势发挥的关键。以上研究大多基于大豆和玉米套作体系, 研究重点多侧重于作物播期调控对作物产量、间套作系统生产力方面, 而在甘肃河西灌区, 由于其生态气候条件, 大豆与玉米基本形成了同种同收的间作模式, 大豆和玉米过长的共生期内, 通过作物播期调控调节共生期种间竞争成为该体系作物生产力提升的关键。因此, 为探明河西灌区大豆/玉米间作模式生产力提升的玉米最佳播期, 本研究通过设置间作玉米不同播期处理, 研究不同玉米播期对大豆/玉米间作系统作物产量、系统生产力以及对间作大豆和玉米种间竞争力的影响, 旨在寻求大豆玉米间作系统中玉米的适播期, 为河西灌区大豆/玉米间作系统玉米播期选择提供理论借鉴。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

试验于 2013 年在甘肃省农业科学院张掖节水农业试验站进行, 试验站地处甘肃省河西走廊中部的张掖市(100°26'E, 38°56'N), 海拔 1 570 m, 平均年日照时数 3 085 h, 昼夜温差 13.00~16.07 °C, 年平均气温 7 °C, ≥ 0 °C 积温 3 388 °C, ≥ 10 °C 积温 2 896 °C, 无霜期 153 d。0~200 cm 平均土壤容重为 1.376 g·cm⁻³, 年平均蒸发量 2 075 mm, 年降水量不足 130 mm, 干旱指数达 10.3, 属于典型的无灌溉就无农业的干旱灌溉地区, 具有西北绿洲灌溉农业区的典型特征。地下水埋深 68~73 m, 地下水位年变幅 1.0 m 左右。试验地属灌漠土, 有机质 17.9 g·kg⁻¹, 速效氮 128.8 mg·kg⁻¹, 速效磷 24.7 mg·kg⁻¹, 速效钾 82.0 mg·kg⁻¹, pH 8.2。

1.2 试验设计

试验包括 3 种植方式, 分别为大豆/玉米间作、大豆单作、玉米单作。玉米设 3 个播期处理, 分别为 4 月 24 日(M1)、5 月 4 日(M2)和 5 月 14 日(M3); 大豆无论单间作均于 4 月 24 日播种。试验处理分别用 IM1(间作玉米播期 4 月 24 日)、IM2(间作玉米播期 5 月 4 日)、IM3(间作玉米播期 5 月 14 日)、SM1(单作玉米播期 4 月 24 日)、SM2(单作玉米播期 5 月 4 日)、SM3(单作玉米播期 5 月 14 日)、大豆单作 SS(播期 4 月 24 日)代表。玉米出苗时间分别为 5 月 4 日、5 月 19 日和 5 月 29 日, 因此, 3 个播期处理大豆与玉米的共生期分别为 165 d(IM1)、150 d(IM2)和 140 d(IM3)。试验采用随机区组排列, 重复 3 次。施肥量为 N 240 kg·hm⁻², 其中 50%基施, 50%在玉米大喇叭口期追施; P₂O₅ 90 kg·hm⁻², 一次性基施。

大豆/玉米间作采用 4:3 行比(4 行大豆, 3 行玉米)种植, 带幅 215 cm, 每小区种植 3 个组合带。小区面积 6.45 m×6 m=38.7 m²; 间作玉米行距 30 cm, 株距 22 cm; 单作玉米等行距种植, 行距 60 cm, 株距 22 cm; 大豆无论单间作行距 25 cm, 株距 20 cm, 大豆与玉米的距离为 40 cm。

供试大豆品种为‘中黄 30’, 供试玉米品种为‘郑单 958’。种植时采用点播器点播, 出苗后间苗以保证 1 穴 1 株。大豆和玉米收获时间均为 2013 年 10 月 16 日。

1.3 样品采集及方法

作物出苗后进行地上部生物量测定, 共采样 6 次, 采样时间分别为 6 月 13 日、7 月 3 日、7 月 26 日、8 月 15 日、9 月 5 日、10 月 17 日。每小区选

取长势一致植株 4 株, 采集地上部鲜样, 鲜样先在 105 °C 下杀青 1 h, 然后在 80 °C 下烘干至恒重后称重。作物成熟后, 间作小区以每小区中间种植带为计产带(避免边行优势)进行实收测产; 计产面积 2.15 m×6 m=12.9 m², 于单作小区中间部位选取与间作同等面积进行收获计产。同时在大豆、玉米计产带以外随机取大豆 15 株、玉米 10 株进行产量构成因素的考察, 大豆考察豆荚数、豆粒数、百粒重, 玉米考察穗粒数、百粒重等性状。

1.4 数据处理与统计分析

1.4.1 数据计算

土地当量比(land equivalent ratio)常用于衡量间作优势^[21]:

$$LER=Y_{is}/Y_{ss}+Y_{im}/Y_{sm} \quad (1)$$

式中: Y_{is} 和 Y_{im} 分别代表间作总面积上大豆和玉米的籽粒产量, kg·hm⁻²; Y_{ss} 和 Y_{sm} 分别为单作大豆和单作玉米的产量。当 LER>1, 表明间作有优势, 当 LER<1 为间作劣势。

间作系统生产力(system productivity, SP, kg·hm⁻²)^[22]为单位面积两种间作物籽粒产量的加权平均值。

$$SP=Y_{is} \times Z_s + Y_{im} \times Z_m \quad (2)$$

式中: Z_s 、 Z_m 分别为大豆和玉米在间作系统中所占的面积比例, 本试验中 $Z_s=0.58$, $Z_m=0.42$ 。

种间相对竞争力(aggressivity, A)^[23]指间作体系中一种作物相对于另一种作物对水分、养分等与产量形成有关资源的竞争力:

$$A_{sm}=Y_{ia}/(Y_{sa} \times Z_s) - Y_{im}/(Y_{sb} \times Z_m) \quad (3)$$

式中: A_{sm} 为大豆相对于玉米的资源竞争力; Y_{ia} 和 Y_{sa} 分别代表间作大豆和单作大豆生物产量, Y_{ib} 和 Y_{sb} 分别代表间作玉米和单作玉米生物产量。当 $A_{sm}>0$, 表明大豆竞争力强于玉米; $A_{sm}<0$, 玉米竞争力强于大豆。

相对拥挤指数(relative crowding coefficient, K 或 RCC)^[24]是基于产量来衡量间作优势和间作群体中不同组分主导地位的指标:

$$K_s=Y_{ia} \times Z_m / [(Y_{sa} - Y_{ia}) \times Z_s] \quad (4)$$

$$K_m=Y_{ib} \times Z_s / [(Y_{sb} - Y_{ib}) \times Z_m]$$

式中: K_s 和 K_m 分别为大豆和玉米的相对拥挤指数, 两者相比大的一方具有更强的竞争力。

竞争比率(competitive ratio, CR)^[25-26]是评价间作系统中组分作物竞争的指标:

$$CR_{sm}=[Y_{ia}/Y_{sa} \times Z_s] / [Y_{ib}/Y_{sb} \times Z_m] \quad (5)$$

式中: 若 $CR_{sm}>1$ 表明大豆的竞争力强于玉米, 若 $CR_{sm}<1$, 则玉米竞争力强于大豆。

1.4.2 统计分析

采用 Microsoft Excel 2010 进行绘图, 用 SAS 8.0 统计分析软件进行方差分析, 并用 LSD 法对各处理间的差异显著性在 5%水平上进行检验。

2 结果与分析

2.1 玉米播期对大豆玉米间作系统土地当量比 (LER)的影响

LER 是衡量间套作产量优势的一个重要指标, 其意义在于单作要获得与间作相同的产量所需要的耕地面积, LER 大于 1 说明间作存在产量优势。试验结果表明, 3 个玉米播期处理下间作系统的 LER 均大于 1, 说明相对于单作, 间作玉米播期并没有影响间作产量优势的发挥(图 1)。对比来看, 随玉米播期延迟, 间作系统 LER 减小, IM3 的 LER(1.07)显著小于 IM1(1.37), IM1 与 IM2(1.13)之间无显著差异。

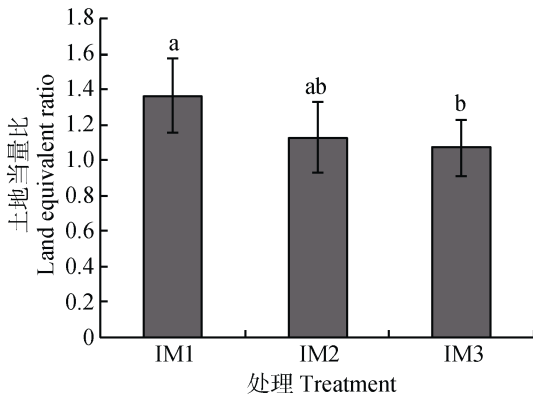


图 1 不同玉米播期下大豆/玉米间作系统的土地当量比

Fig. 1 The land equivalent ratio of maize/soybean intercropping systems with different sowing dates of maize
 IM1: 4 月 24 日播种间作玉米; IM2: 5 月 4 日播种间作玉米; IM3: 5 月 14 日播种间作玉米。不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著。IM1: intercropped maize was sowed in 24th April; IM2: intercropped maize was sowed in 4th May; IM3: intercropped maize was sowed in 14th May. Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at 0.05 level.

2.2 玉米播期对大豆玉米间作系统作物产量的影响

延迟玉米播期, 间作系统作物产量随之降低(表 1), 间作玉米播期变化对间作大豆产量无显著影响。在玉米单作系统中, M3 处理产量显著低于 M1 和 M2, M1 与 M2 之间无显著差异; 其中, M2 产量最高, 为 13 938.7 kg·hm⁻²; M3 仅为 9 705.9 kg·hm⁻², 较 M1 和 M2 的玉米产量下降 21.3%和 30.3%, M2 较 M1 玉米产量提高 12.9%。在间作系统中, 间作玉米产量表现为随玉米播期的延迟而降低, M3 处理显著低于 M1 和 M2 处理, 而 M1 和 M2 处理间无显著差异; 对比来看, M2 和 M3 两处理较 M1 处理玉米产量分别下降 14.1%和 37.3%。间作系统混合产量和系统生产力的变化趋势均与间作玉米产量变化趋势一致, 均随玉米播期延迟而下降, 且 M3 处理显著低于 M1 和 M2。

玉米播期对大豆产量构成因子无显著影响(表 2)。与单作对比, 间作大豆收获指数提高, 且 IM1 和 IM2 处理的收获指数显著高于 SS 处理; 而在单株英数, 单株粒数, 百粒重方面, 单、间作之间以及播期处理之间无显著差异。

从表 3 可知, 单作和间作玉米各处理间穗粒数均无显著差异; 单作玉米体系中, 播期改变对玉米百粒重无显著影响, 而在间作系统中, 随播期延迟, 玉米百粒重减小, M3 处理的百粒重仅为 M1 处理的 71%; 间作玉米收获指数随播期推迟而降低但各处理间无显著差异, 单作玉米收获指数 M3 显著低于 M1 和 M2。

2.3 玉米播期对作物相对竞争力的影响

大豆玉米共生期内, 大豆相对于玉米的资源竞争力(A_{sm})在共生前期呈波动性, 但 A_{sm} 均大于 0, 而在共生后期 A_{sm} 均逐渐变小且最终小于 0(图 2)。对

表 1 玉米播期对大豆/玉米间作体系作物产量的影响

Table 1 Effect of maize sowing date on yield of crops in maize/soybean intercropping system kg·hm⁻²

处理 Treatment	大豆 Soybean		玉米 Maize		混合产量 Total yield of soybean and maize	间作系统生产力 System productivity
	间作 Intercropping	单作 Monoculture	间作 Intercropping	单作 Monoculture		
	M1	706.8±81.7a	1 333.4±328.3	10 310.6±724.1a		
M2	661.5±125.3a	1 333.4±328.3	8 853.2±497.4a	13 938.7±577.8a	9 514.7±617.1a	4 511.60±297.32a
M3	542.1±95.2a	1 333.4±328.3	6 465.4±1 020.1b	9 705.9±1 976.9b	6 940.9±811.6b	3 290.76±369.00b

表中数据为平均值±标准差, 同列数据中不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著。M1: 4 月 24 日播种玉米; M2: 5 月 4 日播种玉米; M3: 5 月 14 日播种玉米。The data were means ± S.E. (n=3). Values in the same column followed by different small letters were significantly different at 0.05 level. M1: maize was sowed in 24th April; M2: maize was sowed in 4th May; M3: maize was sowed in 14th May.

表 2 玉米播期对间作大豆产量构成因素的影响

Table 2 The yield components of soybean in maize/soybean intercropping system as affected by sowing date of maize

处理 Treatment	有效株数 Effective stalks (plants·m ⁻²)	单株荚数 Pod number per plant	单粒粒数 Grain number per plant	百粒重 100-grain weight (g)	收获指数 Harvest index
IM1	9.30	26.53±1.85a	45.37±6.92a	20.49±0.70a	0.20±0.02a
IM2	9.30	25.03±2.29a	41.53±1.93a	22.32±2.37a	0.19±0.01a
IM3	9.30	29.53±7.78a	45.90±9.13a	22.22±1.23a	0.13±0.05ab
SS	20.00	22.47±6.22a	42.70±4.91a	19.37±1.53a	0.10±0.03b

表中数据为平均值±标准差, 同列数据中不同小写字母表示 0.05 水平上差异显著。IM1: 4 月 24 日播种间作玉米; IM2: 5 月 4 日播种间作玉米; IM3: 5 月 14 日播种间作玉米; SS: 单作大豆。The data were means ± S.E. (n=3). Values in the same column followed by different small letters were significantly different at 0.05 level. IM1: intercropped maize was sowed in 24th April; IM2: intercropped maize was sowed in 4th May; IM3: intercropped maize was sowed in 14th May; SS: soybean monoculture.

表 3 玉米播期对与大豆间作的玉米产量构成因素的影响

Table 3 The yield components of maize intercropped with soybean as affected by sowing date of maize

处理 Treatment	穗粒数 Grains per spike		百粒重 100-grain weight (g)		收获指数 Harvest index	
	间作 intercropped	单作 Monoculture	间作 Intercropped	单作 Monoculture	间作 Intercropped	单作 Monoculture
M1	552.63±37.01a	550.13±19.69a	36.64±1.89a	35.96±0.62a	0.54±0.03a	0.43±0.12a
M2	577.97±43.00a	598.43±33.12a	33.17±1.13b	34.28±1.44a	0.50±0.03a	0.50±0.03a
M3	525.32±14.57a	568.71±35.24a	26.12±0.61c	32.62±5.06a	0.41±0.02a	0.42±0.04b

显著性 Significance

种植方式 Cropping pattern (C)	NS	NS	NS
播期 Sowing date (S)	NS	*	*
C × S	NS	NS	NS

M1: 4 月 24 日播种玉米; M2: 5 月 4 日播种玉米; M3: 5 月 14 日播种玉米。*表示在 P<0.05 水平显著, NS 表示不显著。M1: maize was sowed in 24th April; M2: maize was sowed in 4th May; M3: maize was sowed in 14th May.* indicate significant difference at 0.05 level, NS indicates no significant difference.

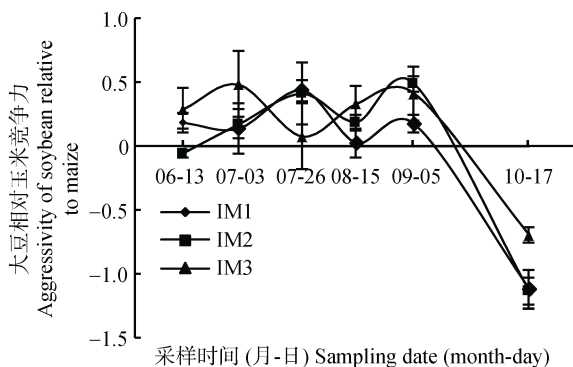


图 2 玉米播期对间作系统中大豆相对于玉米的相对竞争力的影响

Fig. 2 Dynamics of aggressivity of soybean relative to maize in soybean/maize intercropping system as affected by sowing date of maize

IM1: 4 月 24 日播种间作玉米; IM2: 5 月 4 日播种间作玉米; IM3: 5 月 14 日播种间作玉米。IM1: intercropped maize was sowed in 24th April; IM2: intercropped maize was sowed in 4th May; IM3: intercropped maize was sowed in 14th May.

比来看, IM1 的 A_{sm} 值于 7 月 26 日采样后开始下降, 并低于同时期其他两个处理, 说明第 3 次采样后 IM1 处理下大豆相对于玉米的资源竞争力变弱, 而玉米的竞争力增强。而两个晚播处理相对早播处理而言在资源竞争方面依旧是大豆占据主导。3 个处

理的 A_{sm} 值均于 9 月初(9 月 5 日采样)后开始急剧下降, 直至降到 0 以下; 至采样结束各处理 A_{sm} 值分别为: IM1 处理 -1.08、IM2 处理 -1.10、IM3 处理 -0.70。

大豆玉米共生期内, 大豆的相对拥挤指数(K_s)各处理间无明显差异, 且 K_s 值均小于 0.5, 后期 IM2 处理相对较高。9 月 5 日采样之前, 玉米的相对拥挤指数(K_m)各处理间无明显差异, 且均小于同期的 K_s ; 而 9 月 5 日采样后, K_m 急剧上升并超过 K_s , 其中 IM1 和 IM2 处理的 K_m 上升迅速, 说明此时玉米对于资源的竞争占据优势, 至共生期结束, K_m 排序为: 4 月 24 日播种处理(1.67)>5 月 4 日播种处理(1.52)>5 月 14 日播种处理(0.45)(图 3)。

采样时期竞争比率(CR)变化趋势与作物相对竞争力变化趋势一致。由图 4 可知, 各处理在 9 月 5 日采样之前 CR 值呈波动性, 且 CR 值均大于 1, 在 7 月之前, IM3 处理 CR 值高于 IM1 和 IM2; 7 月至 8 月, IM1 和 IM2 处理的 CR 值高于 IM3; 而从 8 月至采样结束, 表现为 IM3 处理高于 IM2 和 IM1。可以看出早播处理玉米竞争力占据优势的时间要早于晚播的两个处理。

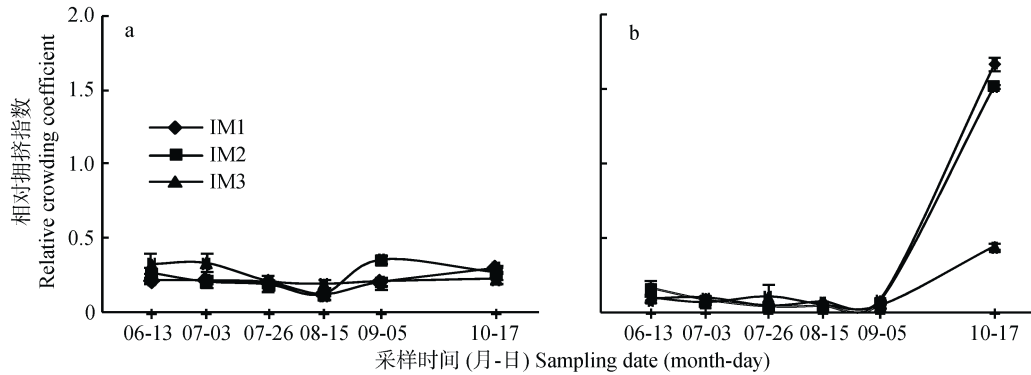


图 3 玉米播期对间作系统间作期间大豆(a)和玉米(b)相对拥挤指数的影响

Fig. 3 Dynamic of relative crowding coefficient of soybean (a) and maize (b) in soybean/maize intercropping system during the sampling period as affected by sowing date of maize

IM1: 4 月 24 日播种间作玉米; IM2: 5 月 4 日播种间作玉米; IM3: 5 月 14 日播种间作玉米。IM1: intercropped maize was sowed in 24th April; IM2: intercropped maize was sowed in 4th May; IM3: intercropped maize was sowed in 14th May.

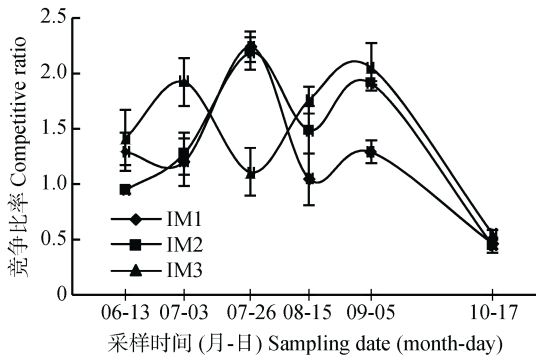


图 4 不同玉米播期下间作系统中大豆相对于玉米的竞争比率动态变化

Fig. 4 Dynamics of competitive ratio of soybean relative to maize in soybean/maize intercropping system during the sampling period as affected by sowing date of maize

IM1: 4 月 24 日播种间作玉米; IM2: 5 月 4 日播种间作玉米; IM3: 5 月 14 日播种间作玉米。IM1: intercropped maize was sowed in 24th April; IM2: intercropped maize was sowed in 4th May; IM3: intercropped maize was sowed in 14th May.

3 讨论与结论

播期是影响作物产量的主要因素之一^[27-28], 在间作系统中作物播期改变也会显著改变间作作物产量^[29]; Ifenkwe 等^[30]研究发现, 玉米马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)间作, 玉米播期推迟, 玉米产量显著减小; 卞新民等^[31]研究表明大豆玉米间作系统大豆播期推迟, 大豆产量明显下降。杨燕竹等^[32]研究发现, 大豆/玉米间作, 随玉米播期延迟, 大豆产量及系统混合产量均随之降低。本研究中, 随间作玉米播期推迟, 玉米产量和间作系统生产力也随之下降, 而大豆和玉米同期播种时, 间作作物产量均最高, 体系生产力也最高, 变化趋势与前人研究一致。因此, 本研究条件下, 玉米播期延迟对大豆/玉米间作系统作物产量的影响趋势为间作玉米越晚播, 玉米的产量越低, 间作系统生产力也越低, 究其原因可

能是晚播玉米受早播大豆在资源竞争上的抑制, 后期作物产量形成受到影响。

播期能够调控间套作群体对光、气、水、热等气候资源的利用率和竞争矛盾, 适宜的播期可改善作物产量构成因子, 促进作物增产增收^[33]。Ijoyah 等^[34]研究玉米间作秋葵[*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench], 玉米晚播会造成玉米穗长、穗粗、穗重显著减小。雍太文等^[17]研究大豆播前玉米 4 个播期套作大豆发现, 玉米早播比晚播提高大豆中层荚数、粒数、粒重。在本研究中, 玉米播期延迟是在大豆已经播种的情形下, 大豆产量构成因子并没有受晚播玉米的显著影响, 而晚播玉米籽粒百粒重相对于大豆同期播种处理显著减小, 其原因可能是晚播玉米在生长前期受到大豆生长的抑制, 导致后期产量形成弱于早播玉米。

间作系统中同时存在种间竞争和种内竞争, 由于生态位的相对分散, 种间竞争应小于种内竞争, 这也有利于间作提高复合群体的综合产量^[35]。而间作作物播期的调节加剧或减弱了作物间的竞争作用, 播期的合理搭配可优化“时空效应”和“补偿效应”^[32]。本研究中, 玉米播期改变引起的大豆和玉米共生期的变化, 从而引起共生期内大豆和玉米种间竞争的差异; 间作作物的相对竞争力、相对拥挤指数和竞争比率为普遍采用的反映间作作物种间竞争能力的指标。本研究中共生前期, 大豆相对于玉米的资源竞争力各处理虽呈现波动变化, 但始终大于 0, 大豆相对拥挤指数>玉米相对拥挤指数, 竞争比率大于 1, 说明共生前期大豆竞争力占有优势。这也与雍太文等^[36]的研究, 大豆玉米带状种植方式下, 玉米的资源竞争力弱于大豆的结果相一致。播期变化产生的间作物种间产量的差异主要是由于间作物

种间竞争力的分异引起的^[37-38]。本研究中大豆和玉米共生后期(9月至10月),大豆相对于玉米的竞争力及竞争比率开始急剧下降,玉米的相对拥挤指数上升,说明共生后期玉米对资源的竞争力强于大豆。然而晚播处理玉米竞争力增强还是弱于早期播种处理,同样的趋势表现在玉米的相对拥挤指数上,玉米相对拥挤指数后期急剧上升,然而上升速度M1处理始终快于M2处理和M3处理。晚播处理的竞争比率值始终高于早播处理,这些均表明间作玉米晚播造成了后期玉米竞争力的恢复受到抑制。因此,合理的播期配置使间作物种间竞争力最优化是提高间作系统生产力的前提。

本研究通过改变间作玉米播期探讨了间作玉米播期对大豆、玉米产量及大豆/玉米间作系统生产力及作物间竞争力的影响,研究结果表明在河西灌区大豆/玉米间作系统中,随间作玉米播期的推迟,间作系统土地当量比减小,系统生产力下降,间作玉米产量下降;玉米播期的延迟对大豆产量及产量构成因子无显著影响,而间作玉米百粒重随播期延迟显著降低;引起间作系统玉米产量降低的主要因素是播期延迟抑制了共生后期玉米资源竞争力的恢复,在共生前期,大豆相对于玉米的资源竞争力大于0,大豆相对拥挤指数>玉米相对拥挤指数,竞争比率大于1,大豆对资源的竞争占有优势,共生后期,虽然玉米的相对拥挤指数明显升高,但是表现为晚播处理的恢复不如早播处理。因此,对于甘肃河西灌区大豆/玉米间作种植系统而言,大豆和玉米同期播种会稳产,玉米晚播反而减产,此研究结果为甘肃河西灌区大豆/玉米间作种植中作物适宜播期选择提供了理论指导。

参考文献 References

- [1] 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
LI L. Intercropping enhances agroecosystem services and functioning: Current knowledge and perspectives[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(4): 403-415
- [2] 朱锦惠, 董艳, 肖靖秀, 等. 小麦与蚕豆间作系统氮肥调控对小麦白粉病发生及氮素累积分配的影响[J]. 应用生态学报, 2017, 28(12): 3985-3993
ZHU J H, DONG Y, XIAO J X, et al. Effects of N application on wheat powdery mildew occurrence, nitrogen accumulation and allocation in intercropping system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(12): 3985-3993
- [3] HOOPER A M, HASSANALI A, CHAMBERLAIN K, et al. New genetic opportunities from legume intercrops for controlling *Striga* spp. parasitic weeds[J]. Pest Management Science, 2009, 65(5): 546-552
- [4] 杨进成, 刘坚坚, 安正云, 等. 小麦蚕豆间作控制病虫害与增产效应分析[J]. 云南农业大学学报, 2009, 24(3): 340-348
YANG J C, LIU J J, AN Z Y, et al. Analyses on effect of interplanting on diseases and pests control and yield increase of wheat and faba bean[J]. Journal of Yunnan Agricultural University, 2009, 24(3): 340-348
- [5] 梅沛沛, 王平, 李隆, 等. 新开垦土壤上构建玉米/蚕豆-根瘤菌高效固氮模式[J]. 中国生态农业学报, 2018, 26(1): 62-74
MEI P P, WANG P, LI L, et al. Construction of efficient nitrogen-fixing cropping pattern: Maize/faba bean intercrop with rhizobium inoculation in reclaimed low-fertility soils[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2018, 26(1): 62-74
- [6] 吴科生, 宋尚有, 李隆, 等. 施氮和豌豆/玉米间作对土壤无机氮时空分布的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(12): 1397-1404
WU K S, SONG S Y, LI L, et al. Effects of nitrogen application and intercropping on spatio-temporal distribution of soil inorganic nitrogen in pea/maize intercropping field[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(12): 1397-1404
- [7] 王立明, 陈光荣, 张国宏, 等. 玉米/大豆带田大豆密度对其农艺性状及产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2017, (12): 15-18
WANG L M, CHEN G R, ZHANG G H, et al. Effects of soybean density on agronomic traits and yield of corn-soybean in strip interplanting[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2017, (12): 15-18
- [8] VANDERMEER J. The Ecology of Intercropping[M]. New York: Cambridge University Press, 1989: 1045-1055
- [9] TAKIM F O. Advantages of maize-cowpea intercropping over sole cropping through competition indices[J]. Journal of Agriculture and Biodiversity Research, 2012, 1(4): 53-59
- [10] ZHANG F S, LI L. Using competitive and facilitative interactions in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient-use efficiency[J]. Plant and Soil, 2003, 248(1/2): 305-312
- [11] DONG N, TANG M M, ZHANG W P, et al. Temporal differentiation of crop growth as one of the drivers of intercropping yield advantage[J]. Scientific Reports, 2018, 8(1): 3110
- [12] 齐万海, 柴强. 不同隔根方式下间作小麦玉米的竞争力及产量响应[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 31-34
QI W H, CHAI Q. Yield response to wheat/maize competitiveness in wheat/maize intercropping system under different root partition patterns[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(1): 31-34
- [13] 谢永利, 陈颖. 不同间作方式对玉米产量的影响[J]. 山地农业生物学报, 2004, 23(5): 381-385
XIE Y L, CHEN Y. The influence of different intercropping patterns on corn yield[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2004, 23(5): 381-385
- [14] 赵建华, 孙建好, 陈伟, 等. 不同作物与玉米间套作对玉米产量和生物量累积的影响[J]. 作物杂志, 2013, (4): 120-125

- ZHAO J H, SUN J H, CHEN W, et al. Yield and biomass accumulation of maize intercropped with different crops[J]. *Crops*, 2013, (4): 120–125
- [15] CAHILL J F, MCNICKLE G G, HAAG J J, et al. Plants integrate information about nutrients and neighbors[J]. *Science*, 2010, 328(5986): 1657
- [16] FRIDLEY J D. Resource availability dominates and alters the relationship between species diversity and ecosystem productivity in experimental plant communities[J]. *Oecologia*, 2002, 132(2): 271–277
- [17] 雍太文, 杨文钰, 向达兵, 等. 玉/豆套作模式下玉米播期与密度对大豆农艺性状及产量的影响[J]. *大豆科学*, 2009, 28(3): 439–444
- YONG T W, YANG W Y, XIANG D B, et al. Effect of maize sowing time and density on the agronomic characters and yield of soybean in relay-planting system of maize and soybean[J]. *Soybean Science*, 2009, 28(3): 439–444
- [18] 徐婷, 雍太文, 刘文钰, 等. 播期和密度对玉米-大豆套作模式下大豆植株、干物质积累及产量的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2014, 36(5): 593–601
- XU T, YONG T W, LIU W Y, et al. Effects of sowing time and density on soybean agronomic traits, dry matter accumulation and yield in maize-soybean relay strip intercropping system[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2014, 36(5): 593–601
- [19] 李志贤, 王建武, 杨文亭, 等. 广东省甜玉米/大豆间作模式的效益分析[J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(3): 627–631
- LI Z X, WANG J W, YANG W T, et al. Benefit of sweet corn/soybean intercropping in Guangdong Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(3): 627–631
- [20] FRANCIS C A, PRAGER M, TEJADA G. Effects of relative planting dates in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and maize (*Zea mays* L.) intercropping patterns[J]. *Field Crops Research*, 1982, 5: 45–54
- [21] MAO L L, ZHANG L Z, LI W Q, et al. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop[J]. *Field Crops Research*, 2012, 138: 11–20
- [22] 李玉英, 余常兵, 孙建好, 等. 蚕豆/玉米间作系统经济生态施氮量及对氮素环境承受力[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(3): 223–227
- LI Y Y, YU C B, SUN J H, et al. Nitrogen environmental endurance and economically-ecologically appropriate amount of nitrogen fertilizer in faba bean/maize intercropping system[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(3): 223–227
- [23] 陈国栋, 万素梅, 冯福学, 等. 带型对小麦间作玉米产量和种间竞争力的影响[J]. *西北农业学报*, 2017, 26(7): 990–997
- CHEN G D, WAN S M, FENG F X, et al. Effects of rows arrangement on yield and interspecific competition of intercropped wheat and maize[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2017, 26(7): 990–997
- [24] 宁川川, 杨荣双, 蔡茂霞, 等. 水稻-雍菜间作系统中种间关系和水稻的硅、氮营养状况[J]. *应用生态学报*, 2017, 28(2): 474–484
- NING C C, YANG R S, CAI M X, et al. Interspecific relationship and Si, N nutrition of rice in rice-water spinach intercropping system[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2017, 28(2): 474–484
- [25] 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
- ZHANG G G, DONG S T, YANG Z B. Production performance of alfalfa+maize intercropping systems and evaluation of interspecies competition[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(1): 22–30
- [26] ZHANG G G, YANG Z B, DONG S T. Interspecific competitiveness affects the total biomass yield in an alfalfa and corn intercropping system[J]. *Field Crops Research*, 2011, 124(1): 66–73
- [27] 刘明, 陶洪斌, 王璞, 等. 播期对春玉米生长发育与产量形成的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(1): 18–23
- LIU M, TAO H B, WANG P, et al. Effect of sowing date on growth and yield of spring-maize[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(1): 18–23
- [28] 任永峰, 梅丽, 杨亚东, 等. 播期对藜麦农艺性状及产量的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2018, 26(5): 643–656
- REN Y F, MEI L, YANG Y D, et al. Effects of sowing time on agronomic characteristics and yield of quinoa[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2018, 26(5): 643–656
- [29] BORGHI E, CRUSCIOL C A C, NASCENTE A S, et al. Sorghum grain yield, forage biomass production and revenue as affected by intercropping time[J]. *European Journal of Agronomy*, 2013, 51: 130–139
- [30] IFENKWE O P, ODURUKWE S O. Potato/maize intercropping in the Jos Plateau of Nigeria[J]. *Field Crops Research*, 1990, 25(1/2): 73–82
- [31] 卞新民, 刘景春. 苏南丘陵旱地麦/玉米/秋作复合群体时空结构配置研究[J]. *耕作与栽培*, 1999, (5): 14–15
- BIAN X M, LIU J C. Spatial and temporal structure of wheat/maize/autumn mixed population in hilly dryland of southern Jiangsu Province[J]. *Tillage and Cultivation*, 1999, (5): 14–15
- [32] 杨燕竹, 杜青, 陈平, 等. 玉米大豆播期衔接对间作大豆干物质积累及产量的影响[J]. *华北农学报*, 2017, 32(3): 96–102
- YANG Y Z, DU Q, CHEN P, et al. Effect of maize and soybean sowing date cohesion on soybean dry matter accumulation and yield in intercropping[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2017, 32(3): 96–102
- [33] 薛国峰, 安瞳昕, 吴开贤, 等. 间套作中作物播期配置研究综述[J]. *云南农业大学学报*, 2013, 28(4): 576–581
- XUE G F, AN T X, WU K X, et al. Review on the effect of crop sowing date in intercropping systems[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2013, 28(4): 576–581
- [34] IJOYAH M O, DZER D M. Yield Performance of okra (*Abelmoschus esculentus* L. Moench) and maize (*Zea mays* L.) as affected by time of planting maize in Makurdi, Nigeria[J]. *ISRN Agronomy*, 2012, 2012(6): 310–313
- [35] 吴开贤, 安瞳昕, 范志伟, 等. 玉米与马铃薯的间作优势和

- 种间关系对氮投入的响应[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 1006-1012
- WU K X, AN T X, FAN Z W, et al. Effects of nitrogen input on yields advantage and interaction of the maize and potato intercropping[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(4): 1006-1012
- [36] 雍太文, 刘小明, 宋春, 等. 种植方式对玉米-大豆套作体系中作物产量、养分吸收和种间竞争的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(6): 659-667
- YONG T W, LIU X M, SONG C, et al. Effect of planting patterns on crop yield, nutrients uptake and interspecific competition in maize-soybean relay strip intercropping system[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2015, 23(6): 659-667
- [37] PARK S E, BENJAMIN L R, WATKINSON A R. The theory and application of plant competition models: An agronomic perspective[J]. Annals of Botany, 2003, 92(6): 741-748
- [38] HUANG C D, LIU Q Q, LI H P, et al. Optimised sowing date enhances crop resilience towards size-asymmetric competition and reduces the yield difference between intercropped and sole maize[J]. Field Crops Research, 2018, 217: 125-133

欢迎订阅 2019 年《果树学报》

《果树学报》是中国农业科学院郑州果树研究所主办的国家级学术期刊, 分别被有关权威期刊评价机构评为中国精品科技期刊、中国农林水产类权威学术期刊、中文园艺学核心期刊、中国科技核心期刊, 已被中国科学引文数据库来源期刊(核心库)、美国化学文摘(CA)、英国 CABI 等 20 余种国内外重要数据库收录。2017 年 10 月《中国科技期刊引证报告》(核心版)中本刊总被引频次 2664, 影响因子为 1.173; 12 月中国科学文献计量评价研究中心(中国知网)中本刊复合影响因子为 1.890, 期刊综合影响因子为 1.353。已成为国内外有影响的学术期刊之一。《果树学报》着重选发密切结合我国果树科研、教学、生产实际, 反映学科学术水平和发展动向的优秀稿件, 及时报道重大科研成果、阶段性成果和科研进展情况。栏目设置有种质资源·遗传育种·分子生物学、栽培·生理·生态、植物保护·果品质量与安全、贮藏·加工、专论与综述、技术与方法、新品种选育报告等。读者对象为果树学科的科研人员、高等农业院校师生及基层果树管理技术人员。月刊, 每期 128 页, 定价 20 元, 全年 12 期共 240 元。邮发代号: 36-93, 国际代号 BM/1107。欢迎投稿, 欢迎订阅。

编辑部地址: 河南省郑州市未来路南端 中国农业科学院郑州果树研究所

邮编: 450009 电话: 0371-63387308 E-mail: guoshuxuebao@caas.cn

网址: www.fruitsci.cn 在线投稿: http://gskk.cbpt.cnki.net



欢迎订阅 2019 年《特种经济动植物》

《特种经济动植物》(原名《国外特种经济动植物》)是由中华人民共和国农业农村部主管、中国农业科学院特产研究所主办的特种经济动植物专业性国家级科技类期刊, 为中国农业核心期刊。1982 年创刊, 月刊, 大 16 开, 56 页。本刊面向生产和用户, 为科技兴农、振兴农村经济、农民科技致富服务, 奉行科学、适用、及时的办刊方针, 介绍特产农业、特色农业新技术、新成果、新品种、新经验、新信息, 努力办成广大读者买得起、读得懂、用得上的好刊物, 是您致富的好帮手。主要栏目: **特种经济动物** 毛皮动物、野生动物、各种宠物、珍(野)禽、畜禽优良品种、特有水(海)产动物。 **特种经济植物** 经济植物、野生(名特)果树, 药源、观赏、油料、饲料、蜜源、园林草坪、海(水)生、防风固沙(氮)等植物, 高产作物、野生名特蔬菜、各地名产、牧草、食用菌等的栽培、加工、植物保护等。 **信息荟萃** 国内毛皮市场及世界毛皮拍卖会行情, 全国十大中药材市场特种经济动、植物类中药材市场行情、发展前景及其权威预测等。刊号: CN 22-1155/S, 邮发代号 12 - 183, 每期定价 4.00 元, 全年 48.00 元(含邮费)。全国各地邮局(所)均可订阅, 也可随时从邮局汇款至编辑部订阅。

地址: 长春市净月经济开发区聚业大街 4899 号 邮编: 130112

单位: 中国农业科学院特产研究所《特种经济动植物》编辑部

电话: (0431)81919599 E-mail: tzjdz@126.com