

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.181014

陈元凯, 冯铃洋, Muhammad Ali Raza, 范元芳, 谌俊旭, 雍太文, 杨文钰, 杨峰. 四川地区玉米-大豆带状套作对大豆形态、叶绿素荧光特征及系统产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(6): 870-879

CHEN Y K, FENG L Y, MUHAMMAD A R, FAN Y F, CHEN J X, YONG T W, YANG W Y, YANG F. Effect of maize/soybean relay strip intercropping system on soybean morphology, chlorophyll fluorescence, and yield in Sichuan area[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(6): 870-879

四川地区玉米/大豆带状套作对大豆形态、叶绿素 荧光特征及系统产量的影响*

陈元凯, 冯铃洋, Muhammad Ali Raza, 范元芳,
谌俊旭, 雍太文, 杨文钰**, 杨峰**

(四川农业大学农学院/农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室/四川省作物带状复合
种植工程技术研究中心 成都 611130)

摘要: 玉米/大豆带状套作可以充分利用光环境, 提高单位土地面积物质产出。为探明玉米/大豆带状复合种植模式下不同空间配置对大豆冠层光环境、形态、产量及系统效益的影响, 进而为大豆高产优质栽培提供依据, 本研究选用半紧凑型(‘川单 418’)和紧凑型(‘荣玉 1210’)玉米品种与大豆带状套作, 固定带宽为 200 cm, 玉米采用宽窄行种植, 玉米窄行距设置 3 个处理: 20 cm、40 cm、60 cm; 并以单作大豆(SS)作为对照。分析透光率、形态、光合色素、荧光参数、生物量和系统产量的变化规律。结果表明: 套作大豆冠层透光率、红光/远红光(R/FR)比值随玉米窄行距的增大而逐渐降低; 套作下大豆茎粗、节数、茎干重和全叶干重均随玉米窄行距增大呈降低趋势, 最大值出现在玉米窄行距 20 cm 处理下; 与单作大豆相比, 两个玉米品种下大豆茎粗、节数、茎干重和全叶干重均显著降低, 而第 2 节间长和主茎长显著升高。套作下大豆叶片光合色素含量随玉米窄行距的增大而逐渐降低, 各行距处理及不同玉米品种下套作的叶片光合色素含量均低于单作大豆。大豆叶片荧光参数 F_v/F_m 、NPQ、 F_q/F_m 和 F_q/F_v 随玉米窄行距的增大均呈先增大后减小的趋势, 而 F_0 变化趋势与之相反。玉米收获后, 大豆光环境得到改善并迅速恢复生长, 套作大豆形态生理指标与单作差异减小, 但由于前期玉米的遮荫, 各套作处理间大豆产量差异仍显著。通过系统效益分析, 在玉米窄行距 40 cm 处理下, 套作系统综合产量最高, 两玉米品种下玉米、大豆产量平均分别为 $8\ 559.52\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $1\ 717.60\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 土地当量比平均达 1.57。本试验中大豆与两个株型玉米套作, 大豆形态生理指标差异影响不显著。因此, 选择紧凑或半紧凑玉米品种, 适度缩小玉米窄行距可以显著改善带状套作大豆的生长环境, 提高其生物量和产量。

关键词: 四川地区; 玉米/大豆带状套作; 玉米品种; 玉米行距; 大豆形态生理特征; 系统产量

中图分类号: S565.1 文献标识码: A 文章编号: 2096-6237(2019)06-0870-10

Effect of maize/soybean relay strip intercropping system on soybean morphology, chlorophyll fluorescence, and yield in Sichuan area*

CHEN Yuankai, FENG Lingyang, MUHAMMAD Ali Raza, FAN Yuanfang, CHEN Junxu,

* 国家重点研发计划项目(2016YFD0300209)、国家自然科学基金项目(31571615)和四川省教育厅重点项目(16ZA0041)资助

** 通信作者: 杨文钰, 主要从事作物高产优质高效栽培理论与技术研究, E-mail: mssiwyyang@sicau.edu.cn; 杨峰, 主要从事作物高产优质高效栽培理论与技术研究, E-mail: f.yang@sicau.edu.cn

陈元凯, 主要从事作物高产优质高效栽培理论与技术研究。E-mail: 1838866709@qq.com

收稿日期: 2018-11-23 接受日期: 2019-02-24

* This research was supported by the National Key Research and Development Project of China (2016YFD0300209), the National Natural Science Foundation of China (31571615) and the Major Project of Education Department of Sichuan (16ZA0041).

** Corresponding authors: YANG Wenyu, E-mail: mssiwyyang@sicau.edu.cn; YANG Feng, E-mail: f.yang@sicau.edu.cn

Received Nov. 23, 2018; accepted Feb. 24, 2019

YONG Taiwen, YANG Wenyu^{**}, YANG Feng^{**}

(College of Agronomy, Sichuan Agricultural University / Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest China, Ministry of Agriculture / Sichuan Engineering Research Center for Crop Strip Intercropping System, Chengdu 611130, China)

Abstract: Maize/soybean relay strip intercropping can make efficient use of light and land resources to improve yield per unit of land area. The research was conducted to explore the influence of row spacing of maize on the soybean canopy light environment and morphological traits. Two maize varieties, semi-compact (Chuandan 418) and compact (Rongyu 1210), were used to study the efficient utilization of land resources to enhance yield and yield components. Three arrangements of 20 cm, 40 cm, and 60 cm of maize narrow row spacing were set with same width of strip intercropping (SI) belt and soybean row spacing. Solely soybean with a fixed strip width of 200 cm was planted as a control. The light transmittance, morphology, photosynthetic pigment, fluorescence parameters, biomass of soybean and grain yield of both maize and soybean were analyzed. The results showed that the light transmittance and red light/far-red light (R/FR) ratio of the soybean canopy decreased with an increasing narrow row spacing of maize. The same trend was visible in the stem diameter, node number, and dry matter of stem and leaves. The maximum values were measured in the maize narrow row spacing width of 20 cm. Compared with the control, the stem diameter, node number, dry matter of stem and leaves of soybean were significantly reduced under intercropping with two maize varieties, while the second internode length and main stem length of soybean were significantly increased. Photosynthetic pigments contents in intercropped soybean leaves gradually decreased with the increase of narrow row spacing of maize, and were lower than monocultured soybean. The fluorescence parameters of soybean leaves of F_v/F_m , NPQ, F_q/F_m , and F_q/F_v first increased and then decreased, while a reverse trend was visible for F_o with the increase of narrow row spacing of maize. The soybean rapidly recovered after exposure to a full light environment by harvesting the maize crop. The difference in soybean morphological and physiological indexes between intercropping and monoculture was reduced. However, owing to the shading effect of maize in the early growth stage, a significant difference in the grain yield was observed between different intercropping treatments. A benefit analysis of the maize/soybean intercropping system demonstrated that the comprehensive yield was the highest for a narrow row spacing arrangement of maize (40 cm). The yield of maize and soybean were on average 8 559.52 kg·hm⁻² and 1 717.60 kg·hm⁻², respectively. The average land equivalent ratio was 1.57. There was no significant effect on soybean morphological and physiological indexes under intercropping conditions between both types of maize in this experiment. It can be concluded that selecting compact or semi-compact maize varieties and moderately reducing the narrow row spacing of maize can significantly improve the growth of soybean in a maize/soybean strip intercropping system, and result in higher biomass and yield.

Keywords: Sichuan area; Maize/soybean relay strip intercropping; Maize variety; Maize row spacing; Morphological characteristics of soybean; System yield

间套作通过不同的作物配置, 构建多作物、多层次、多功能的复合群体, 使水、肥等有限资源得到充分利用, 从而提高农田生态系统的物质产出^[1-2]。杨文钰等^[3]结合南方自然条件和社会需求, 在总结传统玉米(*Zea mays* L.) /甘薯(*Dioscorea esculenta* L.)模式及玉米/大豆(*Glycine max* L.)模式的基础上, 提出了玉米-大豆带状复合种植模式。该模式依据作物栽培原理, 利用复合群体内作物自身特性, 优劣互补, 提高复种指数和土地利用效率, 同时增加大豆的种植面积^[4], 解决大豆迎茬、重茬等问题, 保证大豆的稳产、高产^[5-7]。在不影响玉米产量的同时, 增加大豆产量, 实现玉米大豆和谐发展, 对保障区域及国家粮食安全具有重要意义^[3,8]。

在玉米-大豆带状复合种植系统中, 协调玉米、大豆生长, 发挥间套作优势是实现两种作物协同高产的关键。目前, 国内外对玉米/大豆间套作的研究主要围绕播期选择、品种选配、密肥水平以及田间配置等方面开展。在玉米/大豆套作模式下, 随着玉

米的早播, 晚熟大豆净光合速率较高, 其灌浆速率逐渐增加, 有利于干物质的形成^[9]。而对大豆播期而言, 晚熟大豆品种与马铃薯(*Solanum tuberosum* L.)套作具有更强的优势, 让大豆叶面积指数和净光合速率均保持在较高水平, 从而使套作大豆产量较高^[10]。除播期外, 大豆株行距配置对大豆产量同样有较大影响, 夏大豆株行距分别为 12 cm×27 cm 时, 大豆的产量构成因素较为合理^[11]。但针对不同玉米株型配置对大豆生长和产量的研究较少。田间配置改变大豆群体结构, 在适宜密度条件下对株行距进行调节, 使其生长环境发生变化, 株距减小导致个体间竞争加剧, 营养物质分配失调^[12]。当玉米大豆间距设置为 25~60 cm 时, 大豆单株产量随间距的增加而增大^[13], 主要是由于大豆行距离玉米行越近, 冠层透光率越低, 苗期受玉米荫蔽作用越严重, 影响大豆后期形态和产量建成^[14]。对于不同株型玉米, 王竹等^[15]认为, 在紧凑型玉米和豆幅宽 1.17 m 下, 大豆的植株健壮, 产量较高。同样, 玉米/大豆套作中带宽 2 m

条件下能够均衡系统中作物间的养分竞争,使系统养分积累能力增强,提高系统的综合生产能力,从而提高作物的生物量和产量,达到最大的土地当量比^[16]。然而,围绕不同玉米株型和窄行距配置下对大豆光环境、形态、光合荧光参数等影响的报道较少。因此,本研究选取紧凑型 and 半紧凑型两个玉米品种,在不同行距配置下探讨套作大豆冠层光环境变化规律,及对大豆形态、荧光参数和产量的影响,以期为进一步完善大豆的优质高产栽培技术提供一定的理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地点及材料

试验于 2015 年 3~11 月在四川省仁寿县四川现代粮食生产示范基地(30°07'N, 104°18'E, 海拔 482 m)进行。该区属亚热带季风湿润气候,年均气温 17.4℃,年均降雨 1 009.4 mm,年均日照时数 1 196.6 h,无霜期 310 d。试验田土壤为紫色黏土,基础化学性质为: pH 6.8,有机质 1.98 g·kg⁻¹,全氮 1.3 g·kg⁻¹,速效氮 115 mg·kg⁻¹,速效磷 15.2 mg·kg⁻¹,速效钾 118 mg·kg⁻¹。玉米选用半紧凑型的‘川单 418’和紧凑型的‘荣玉 1210’(均来源于四川农业大学玉米研究所);大豆为晚熟品种‘南豆 12’(四川南充市农业科学研究院供种),株型直立抗倒,耐荫性较好^[17]。

1.2 试验设计

采用完全随机区组试验设计(图 1)。A 为玉米品种: A1, ‘川单 418’; A2, ‘荣玉 1210’; B 为玉米窄行距, 3 个水平: 20 cm(B1)、40 cm(B2)和 60 cm(B3)。3 个玉米窄行距下对应的玉米宽行距分别是 180 cm、160 cm 和 140 cm。套作玉米采用宽窄行种植模式,固定带宽 200 cm,于 3 月下旬播种,4 月上旬移栽,8 月初收获;套作大豆于 6 月初免耕直播于玉米宽行内,11 月初收获。玉米密度 6 万株·hm⁻²,株距 16.7 cm,大豆密度 10 万株·hm⁻²,行距设置为 40 cm,株距 10 cm。玉米和大豆各小区种植两带,每带种植 2 行,单株定植,小区面积 28 m²。各处理重复 3 次。以单作玉米、单作大豆为对照,行距均为 70 cm,玉米株距 23.8 cm,大豆株距 14.3 cm。玉米底肥每公顷施磷酸钙 600 kg(含 P₂O₅ 12%)和氯化钾 150 kg(含 K₂O 60%);玉米全生育期共施纯氮 240 kg·hm⁻²,按底肥 穗肥 1:1 比例施用。大豆基肥施尿素 75 kg·hm⁻²、过磷酸钙 600 kg·hm⁻²、氯化钾 60 kg·hm⁻²,初花后追施尿素 75 kg·hm⁻²。对照与套作中的玉米和大豆播种时间、密度及小区施肥水平一致,其他按照常规大田管理进行。

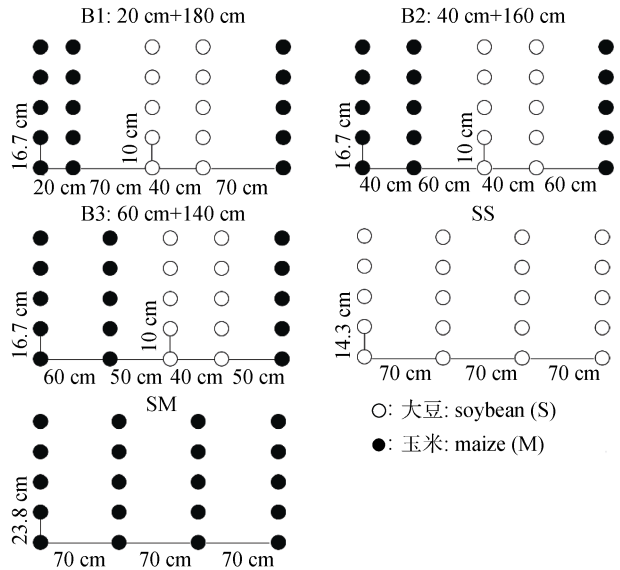


图 1 不同玉米行距处理下玉米/大豆带状套作种植结构示意图

Fig. 1 Sketch maps of maize and soybean relay strip intercropping systems under different treatments of maize row spacing

1.3 测定项目与方法

试验参照 Fehr 等^[18]的生育时期划分法,在大豆营养生长期的三叶期(third trifoliolate)、五叶期(fifth trifoliolate)和生殖生长期的盛荚期(full pod)取样。每个小区取长势均匀的植株 3 株测定形态、生物量、叶绿素、叶绿素荧光参数等指标,重复测定 3 次,以其平均值作为该小区参数。

1.3.1 大豆冠层光环境测定(PAR)

于大豆三叶期,使用 LI-1400 光量子仪(美国 LI-COR 公司)在 10:30—14:00(晴朗无云)测定光合有效辐射的分布。测定时,在各处理中,移动与 LI-1400 连接的 LI-191 SA 探杆,逐个记录在大豆冠层顶部 5 cm 高度每个位点的 PAR 值。数据采集的空间范围:从玉米宽行中按照玉米和大豆间距中点、大豆上方、大豆行间中点、单作大豆上方、行间中点及玉米上方、行间中点进行测定。重复观测 5 次,并以各位点的平均值作为大豆冠层的光合有效辐射(I)。根据入射光和透射光的均值通过李艳大等^[19]方法计算透光率。

$$\text{透光率} = I/I_0 \quad (1)$$

式中: I 为大豆冠层顶部的辐射强度, I_0 为玉米冠层顶部的辐射强度。

1.3.2 光质的测定

使用便携式地物光谱仪(荷兰 Avants 公司生产的 AvaField-1, 光谱范围 200~1 100 nm)测定大豆冠层的光谱辐照度,方法与光合有效辐射测定相同。探头视

场角 25°, 以玉米宽窄行平均值作为该观测点的光谱辐照度。选取红边区域 655~665 nm 和远红光区域 725~735 nm 光谱辐照度值, 按照 Hertel 等^[20]方法计算红光/远红光比值(R/FR)。

1.3.3 光合色素及叶绿素荧光参数的测定

在大豆五叶期和盛荚期, 于每个小区中取连续的 3 株大豆倒三叶, 按照光谱测定顺序放入液氮中, 并及时置于-80 °C 冰柜中待测。根据 Sims 等^[21]方法测定光合色素含量。然后利用英国 Technologica 公司生产的叶绿素荧光成像系统(CFI)测定荧光相关参数。测定时, 让叶片充分暗适应 30 min 后获得 F_v/F_m , 随后设定光强为 800 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下让叶片充分光适应 30 min 后获得光处理数据。每个叶片均重复测定 3 次, 取均值作为该处理终值。

1.3.4 形态指标及生物量的测定

在大豆五叶期和盛荚期, 每个小区中选择 3 株具有代表性且长势一致的大豆植株, 对其茎粗、节间数、第 2 节间长、主茎长等指标进行测定。待形态指标测定后, 108 °C 下杀青 30 min 后 80 °C 烘干至恒重测定其生物量。

1.3.5 玉米及大豆产量的测定

待籽粒成熟后, 在各小区未曾取样的完整带中, 玉米收获前考察每小区的有效穗, 小区实打实收折算实际产量。根据均重法每小区另选取 20 苞果穗考察穗

部性状。大豆收获前调查连续 10 株的实际长度和单行株数, 根据小区行数和长度计算出有效株数, 并将 10 株大豆室内风干, 考察单株有效荚数、粒数与百粒重, 计算理论产量。并将该完整带剩余大豆植株全部收获, 计算实际产量。

1.4 数据整理与分析

采用 Microsoft Excel 2016 对原始数据进行整理, 利用 SPSS 13.0 进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 并用 Origin 2017 制作图表。

2 结果与分析

2.1 不同玉米株型和行距下玉米大豆共生期内大豆叶片冠层光环境

由图 2 可知, 不同玉米窄行距直接影响大豆叶片冠层的透光率及 R/FR 比值。随着玉米窄行距的增加, 大豆冠层光强逐渐降低。与单作大豆(SS)相比, 两玉米品种大豆叶片冠层透光率在玉米窄行距 20 cm、40 cm 和 60 cm 处理下分别平均降低 40.7%、55.9%和 65.4%($P<0.05$) (图 2a); 大豆冠层 R/FR 比值变化规律与透光率一致, R/FR 比值分别平均降低 41.0%、47.7%、53.3%(图 2b)。不同的玉米窄行距处理下, 大豆叶片冠层透光率、R/FR 比值处理间差异显著($P<0.05$)。不同的玉米株型处理下, 套作大豆冠层透光率差异不显著($P>0.05$)。

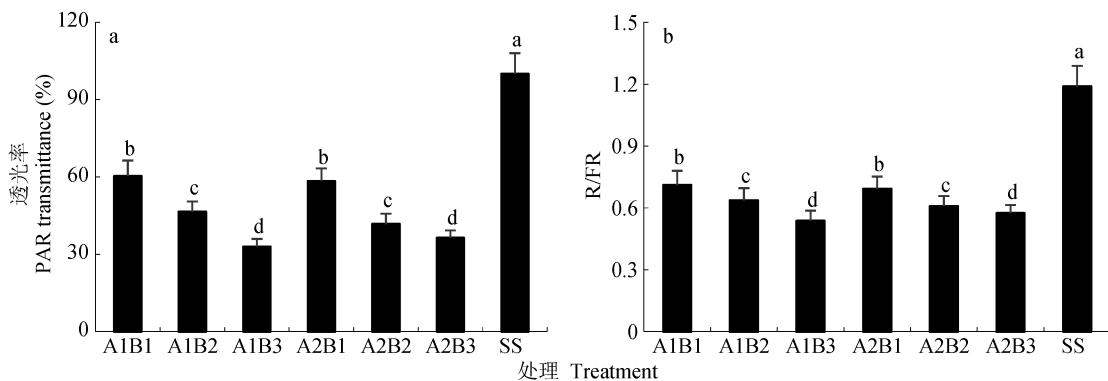


图 2 不同玉米行距和玉米品种对玉米大豆共生期内大豆冠层透光率(a)和 R/FR 值(b)的影响

Fig. 2 Effect of different maize row spacing and maize varieties on PAR transmittance (a) and ratio between the spectral irradiance of R light and FR light (b) of the canopy of soybean at maize/soybean symbiosis period

不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著。A1 和 A2 分别为玉米品种‘川单 418’和‘荣玉 1210’; B1、B2 和 B3 表示玉米/大豆带状套作中玉米窄行距分别为 20 cm、40 cm 和 60 cm。SS 表示单作大豆。Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at 0.05 level. A1 and A2 are maize varieties of ‘Chuandan 418’ and ‘Rongyu 1210’. B1, B2 and B3 mean narrow row spacing of maize of 20 cm, 40 cm and 60 cm in maize/soybean relay strip intercropping systems. SS means sole soybean planting.

2.2 不同玉米株型和行距下大豆形态特征的变化规律

如表 1 所示, 在大豆五叶期, 不同处理间大豆的形态差异显著。随着玉米窄行距的增加, 大豆的茎粗和节数逐渐降低, 而第 2 节间长和主茎长却呈相反的

变化规律。与单作大豆相比, 两个玉米品种处理下大豆茎粗在玉米窄行距 20 cm、40 cm 和 60 cm 处理分别平均降低 54.0%、60.7%、67.7%, 节数分别平均减少 30.0%、40.0%、46.7%; 第 2 节间长分别平均升高 43.2%、30.7%、18.2%, 主茎长分别平均升高

20.2%、29.4%、37.2%。盛荚期大豆形态指标变化规律与五叶期一致,但套作处理与单作的差异程度较五叶期变小。套作处理下大豆分枝数显著低于单作,

套作各处理间大豆分枝数无显著差异。在相同的玉米窄行距下,玉米株型对套作大豆形态特征影响不显著。

表 1 不同玉米行距和玉米品种对大豆不同生育期形态指标的影响

Table 1 Effect of different maize row spacing and maize varieties on the morphological index of intercropped soybean at different growth stages

处理 Treatment	五叶期 Fifth trifoliolate				盛荚期 Full pod				
	茎粗 Stem diameter (mm)	节数 Internode number	第 2 节间长 Length of the 2 nd internode (cm)	主茎长 Main stem length (cm)	茎粗 Stem diameter (mm)	节数 Internode number	第 2 节间长 Length of the 2 nd internode (cm)	主茎长 Main stem length (cm)	分枝数 Branching number
A1B1	4.58b	11b	8.39c	48.56c	8.72b	16b	10.06c	79.33b	5b
A1B2	3.82c	9c	10.32b	52.89b	8.28c	14c	11.56b	82.64b	4b
A1B3	2.91d	8c	12.53a	56.87a	7.67d	13c	12.89a	85.11a	4b
A2B1	4.23b	10b	8.65c	50.11c	8.42b	15b	10.39b	81.12b	4b
A2B2	3.71c	9bc	10.47b	53.33b	8.17bc	14b	11.94a	83.04a	4b
A2B3	3.27d	8c	12.00a	55.76a	7.91c	14b	12.11a	84.46a	4b
SS	9.57a	15a	5.17d	41.04d	12.23a	24a	5.33c	69.11c	7a

不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著。A1 和 A2 分别为玉米品种‘川单 418’和‘荣玉 1210’; B1、B2 和 B3 表示玉米/大豆带状套作中玉米窄行距分别为 20 cm、40 cm 和 60 cm。SS 表示单作大豆。Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at 0.05 level. A1 and A2 are maize varieties of ‘Chuandan 418’ and ‘Rongyu 1210’. B1, B2 and B3 mean narrow row spacing of maize of 20 cm, 40 cm and 60 cm in maize/soybean relay strip intercropping systems. SS means sole soybean planting.

2.3 不同玉米株型和行距下大豆生物量的变化规律

由表 2 可知,大豆的茎干重和叶干重均随着玉米窄行距的增大而减小,不同的玉米株型处理对大豆的生物量影响不显著。五叶期套作大豆各器官生物量均显著低于单作,两玉米品种下大豆茎干重在玉米窄行距 20 cm、40 cm 和 60 cm 处理下较单作分别平均降低 69.3%、78.0%、89.1%,全叶干重分别平均降低 70.0%、78.5%、88.1%,不同玉米窄行距下大豆的生物量差异达显著水平。在盛荚期,套作大豆茎干重显著低于单作,两玉米品种下大豆茎干重在玉米窄行距 20 cm、40 cm 和 60 cm 处理下较单作分别平均降低 48.5%、56.5%、65.9%。茎干重在各玉米窄行距处理间差异显著,全叶干重差异未达显著水平。

2.4 不同玉米株型和行距下大豆叶片光合色素的变化规律

大豆叶片光合色素含量如表 3 所示。随着玉米窄行距的增大,大豆叶片的光合色素呈逐渐降低的趋势。与单作大豆相比,五叶期大豆叶片光合色素含量各套作处理均显著降低,两玉米品种下大豆叶片叶绿素 a 在玉米窄行距 20 cm、40 cm 和 60 cm 处理下分别平均降低 29.3%、44.6%、56.0%,叶绿素 b 分别平均降低 39.4%、50.3%、60.8%,总叶绿素分别平均降低 31.5%、45.6%、57.1%,类胡萝卜素分别平均降低 15.4%、26.8%、36.3%,不同的玉米窄

行距对大豆叶片光合色素含量影响显著。在盛荚期,单作大豆叶片的光合色素较套作大豆高,但套作各处理间大豆叶片的光合色素差异不显著。不同的玉米株型对套作大豆叶片光合色素影响不显著。

表 2 不同玉米行距和玉米品种对大豆不同生育期生物量的影响

Table 2 Effect of different maize row spacing and maize varieties on the biomass of intercropped soybean at different growth stages

处理 Treatment	五叶期 Fifth trifoliolate		盛荚期 Full pod	
	茎干重 Stem dry weight (g)	全叶干重 Full leaf dry weigh (g)	茎干重 Stem dry weight (g)	全叶干重 Full leaf dry weigh (g)
A1B1	8.091b	5.987b	65.524b	54.259b
A1B2	5.367c	3.875c	54.891c	47.389bc
A1B3	1.696d	1.293d	40.992d	41.564c
A2B1	6.298b	4.568b	60.759b	50.198b
A2B2	4.945c	3.697c	51.814c	46.117b
A2B3	3.397d	2.891d	42.642d	43.089b
SS	23.415a	17.584a	122.667a	87.059a

不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著。A1 和 A2 分别为玉米品种‘川单 418’和‘荣玉 1210’; B1、B2 和 B3 表示玉米/大豆带状套作中玉米窄行距分别为 20 cm、40 cm 和 60 cm。SS 表示单作大豆。Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at 0.05 level. A1 and A2 are maize varieties of ‘Chuandan 418’ and ‘Rongyu 1210’. B1, B2 and B3 mean narrow row spacing of maize of 20 cm, 40 cm and 60 cm in maize/soybean relay strip intercropping systems. SS means sole soybean planting.

表 3 不同玉米行距和玉米品种对大豆不同生育期叶片光合色素的影响

Table 3 Effect of different maize row spacing and maize varieties on the photosynthetic pigment of intercropped soybean leaves at different growth stages

处理 Treatment	五叶期 Fifth trifoliolate				盛荚期 Full pod			
	叶绿素 a Chlorophyll a (mg·g ⁻¹)	叶绿素 b Chlorophyll b (mg·g ⁻¹)	总叶绿素 Total chlorophyll (mg·g ⁻¹)	类胡萝卜素 Carotenoid (mg·g ⁻¹)	叶绿素 a Chlorophyll a (mg·g ⁻¹)	叶绿素 b Chlorophyll b (mg·g ⁻¹)	总叶绿素 Total chlorophyll (mg·g ⁻¹)	类胡萝卜素 Carotenoid (mg·g ⁻¹)
A1B1	2.415b	0.568b	2.983b	0.531b	3.631b	0.836b	4.467b	0.893ab
A1B2	1.859c	0.458c	2.317c	0.446c	3.536b	0.817b	4.352b	0.868b
A1B3	1.392d	0.353d	1.745d	0.385d	3.442b	0.789b	4.231b	0.850b
A2B1	2.097b	0.545b	2.642b	0.506b	3.605b	0.913b	4.518b	0.723b
A2B2	1.676c	0.455c	2.131c	0.451c	3.501b	0.899b	4.399b	0.694b
A2B3	1.417d	0.366d	1.782d	0.396d	3.449b	0.857b	4.306b	0.671b
SS	3.189a	0.918a	4.107a	0.613a	3.905a	1.022a	4.928a	0.918a

不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著。A1 和 A2 分别为玉米品种‘川单 418’和‘荣玉 1210’; B1、B2 和 B3 表示玉米大豆带状套作中玉米窄行距分别为 20 cm、40 cm 和 60 cm。SS 表示单作大豆。Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at 0.05 level. A1 and A2 are maize varieties of ‘Chuandan 418’ and ‘Rongyu 1210’. B1, B2 and B3 mean narrow row spacing of maize of 20 cm, 40 cm and 60 cm in maize/soybean relay strip intercropping systems. SS means sole soybean planting.

2.5 不同玉米株型和行距下大豆叶片荧光参数的变化规律

如表 4 所示, 随着玉米窄行距的增大, 非光化学淬灭系数 NPQ 逐渐增大, 而大豆叶片的 F_v/F_m 、 F_q/F_m 和 F_q/F_v 均呈先增大后减小的趋势, 初始荧光 F_0 变化趋势与之相反。不同玉米窄行距处理下, 套作大豆叶片荧光参数在五叶期各处理间存在显著差异, 而在盛荚期各处理间差异均不显著。在五叶期, 与玉米窄行

距 40 cm 相比, 在玉米窄行距 20 cm 处理下, 非光化学淬灭系数、PS 最大光化学效率、 F_q/F_v 和 F_q/F_m 两玉米品种分别平均降低 3.3%、4.9%、14.7%、13.0%, 而初始荧光两玉米品种平均升高 31.7%; 在玉米窄行距 60 cm 处理下, PS 最大光化学效率、 F_q/F_v 和 F_q/F_m 两玉米品种分别平均升高 7.8%、9.4%、15.4%, 而非光化学淬灭系数和初始荧光两玉米品种分别平均降低 14.6%、39.2%。

表 4 不同玉米行距和玉米品种对大豆不同生育期叶片荧光参数的影响

Table 4 Effect of different maize row spacing and maize varieties on the fluorescence parameters of intercropped soybean leaves at different growth stages

处理 Treatment	五叶期 Fifth trifoliolate					盛荚期 Full pod				
	NPQ	F_v/F_m	F_I/F_v	F_q/F_m	F_0	NPQ	F_v/F_m	F_I/F_v	F_q/F_m	F_0
A1B1	2.442b	0.769b	0.361c	0.185b	3.618c	1.954a	0.827a	0.445a	0.263a	3.524a
A1B2	2.557b	0.811a	0.423a	0.212a	2.492d	2.012a	0.831a	0.450a	0.269a	3.455a
A1B3	2.998a	0.727d	0.385b	0.183b	3.743b	1.969a	0.823a	0.434a	0.261a	3.560a
A2B1	2.669b	0.801b	0.375c	0.197b	2.596c	2.036a	0.830a	0.448a	0.267a	3.497a
A2B2	2.724b	0.829a	0.439a	0.227a	2.198d	2.117a	0.837a	0.454a	0.272a	3.415a
A2B3	3.051a	0.786c	0.396b	0.188c	2.817b	2.011a	0.827a	0.439a	0.264a	3.504a
SS	2.371c	0.820a	0.327d	0.158d	3.916a	1.944a	0.826a	0.438a	0.257a	3.589a

不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著。A1 和 A2 分别为玉米品种‘川单 418’和‘荣玉 1210’; B1、B2 和 B3 表示玉米大豆带状套作中玉米窄行距分别为 20 cm、40 cm 和 60 cm。SS 表示单作大豆。Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at 0.05 level. A1 and A2 are maize varieties of ‘Chuandan 418’ and ‘Rongyu 1210’. B1, B2 and B3 mean narrow row spacing of maize of 20 cm, 40 cm and 60 cm in maize/soybean relay strip intercropping systems. SS means sole soybean planting.

2.6 不同玉米株型和行距下的系统产量

由表 5 可知, 随着玉米窄行距的增大玉米产量逐渐升高, 对系统产量的贡献率逐渐增大, 而大豆产量及对系统产量的贡献率呈相反的变化趋势。在玉米窄行距 20 cm、40 cm 和 60 cm 处理下, 与单作

玉米相比, 玉米产量两玉米品种分别平均降低 38.2%、8.5%、0.8%, 对系统产量的贡献率分别平均降低 25.5%、16.8%、12.9%; 与单作大豆相比, 两玉米品种下大豆产量分别平均降低 24.4%、34.9%、49.0%, 对系统产量的贡献率分别平均降低 74.5%、

83.2%、87.2%。土地当量比随玉米窄行距的增大呈先增大后减小的趋势,并以玉米窄行距 40 cm 处理

下达最大值,比 20 cm 和 60 cm 处理两玉米品种分别平均降低 11.5% 和 4.5%。

表 5 不同玉米行距和玉米品种对系统产量的影响
Table 5 Effect of different maize row spacing and maize varieties on the system grain yield

处理 Treatment	玉米 Maize Yield (kg·hm ⁻²)	大豆 Soybean Yield (kg·hm ⁻²)	产量贡献率 Contribution rate (%)		土地当量比 LER
			玉米 Maize	大豆 Soybean	
A1B1	5 172.70e	2 046.30b	71.65	28.35	1.37e
A1B2	7 917.48c	1 777.78c	81.66	18.34	1.58a
A1B3	8 627.92b	1 287.04d	87.02	12.98	1.48c
A2B1	6 651.32d	1 944.44b	77.38	22.62	1.41d
A2B2	9 201.56a	1 657.41c	84.74	15.26	1.56a
A2B3	9 665.82a	1 407.41d	87.29	12.71	1.52b
SMA1	8 703.34b	—	100.00	0.00	1.00f
SMA2	9 843.99a	—	100.00	0.00	1.00f
SS	—	2 638.89a	0.00	100.00	1.00f

不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平上差异显著。A1 和 A2 分别为玉米品种‘川单 418’和‘荣玉 1210’; B1、B2 和 B3 表示玉米/大豆带状套作中玉米窄行距分别为 20 cm、40 cm 和 60 cm。SS 表示单作大豆。Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments at 0.05 level. A1 and A2 are maize varieties of ‘Chuandan 418’ and ‘Rongyu 1210’. B1, B2 and B3 mean narrow row spacing of maize of 20 cm, 40 cm and 60 cm in maize-soybean relay strip intercropping systems. SS means sole soybean planting.

3 讨论

光是作物进行光合作用的能量来源,是维持作物能量平衡的主要环境因子^[22],其中光强和光质对作物光合产物的合成、分配以及产量构成有重要影响^[23-24]。玉米/大豆带状复合种植下,玉米叶片对光的吸收、反射,使不同田间配置下大豆冠层光环境存在显著差异^[25]。随着玉米窄行距的增加,大豆冠层的 PAR 和 R/FR 逐渐降低,由于玉米吸收利用红光,而远红光被传递到大豆冠层,使套作大豆冠层的 R/FR 与单作相比显著降低。高仁才等^[26]研究结果表明:玉米窄行距 20 cm 下大豆冠层透光率和 R/FR 最高,分别为 60.0%、0.94%。在实际生产中,植株冠层结构经常通过调整株型和叶片方位来实现,从而提高光截获和群体生产能力。本研究发现半紧凑和紧凑的玉米对大豆光环境无显著影响,这与杨峰等^[27]的研究结果不同:大豆与紧凑型玉米、半紧凑型玉米套作,紧凑型玉米处理下大豆冠层透光率显著高于半紧凑型。这可能是紧凑型‘荣玉 1210’的株高较半紧凑型‘川单 418’高,形成较大的阴影面积,使两品种的光环境在同一玉米窄行距下无显著差异。大豆茎粗与节数随玉米窄行距的增大逐渐减少,而主茎长呈相反的变化。吴其林等^[28]研究结果表明:苗期遮荫显著影响了大豆茎秆的形态发育和物质积累,荫蔽程度大,大豆茎秆发育不好,最终造成倒伏。这可能是增大玉米窄行距阻碍大豆吸收光能,大豆合成较多的生长素和赤霉素促使节间生长、节数减少^[29];同时遮荫后较低的 R/FR 比值促使细胞伸长

出现严重的避荫反应。

植物通过光合作用合成有机物,是植物形态建成和生物量累积的基础。光合能力的大小与叶片中光合色素的含量密切相关,叶绿素含量及比例随光合能力的影响而变化^[30]。本研究中大豆各光合色素均随玉米窄行距增加而降低,这可能是由于减小玉米宽行距会加剧玉米对大豆的荫蔽,导致大豆的光合能力减弱,进而使大豆光合色素降低。王锐等^[31]研究结果表明:始花期套作大豆叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素以及类胡萝卜素含量玉米窄行距 40 cm 下比 80 cm 各指标分别高 29.7%、34.4%、30.7%、17.9%,且随着玉米窄行距的增大而减小。植物叶片的荧光参数是研究植物光合生理的重要参数,能较好反映逆境对光合作用的影响^[32-33]。植物的潜在最大光合能力可由 PS 最大量子产量反映,植物受到胁迫时,PS 最大量子产量下降^[34]。本研究中五叶期玉米窄行距较小时,大豆受弱光胁迫较低,增大玉米窄行距使非光化学淬灭系数显著增大,PS 最大量子产量、 F_q/F_m 及 F_q/F_v 均呈先增加后降低的趋势,表明大豆受弱光胁迫增大,宋艳霞等^[35]研究结果表明:增加大豆冠层遮荫会导致 NPQ 增加。其中 PS 最大量子产量呈现这种变化趋势,可能是一定程度的荫蔽能够提高大豆的光能转换效率,当超过某一程度后会降低光能转换效率。玉米收获后,大豆迅速恢复生长,套作大豆各处理间叶片荧光参数差异不显著。由此可知,适当增加玉米窄行距会使套作大豆叶片产生以自我保护为目的的生

理适应性反应。

在玉米/大豆带状套作模式中, 下位作物大豆处于群体光能截获的劣势, 上位作物玉米的遮荫是制约大豆增产的主因, 而玉米冠层结构的差异在很大程度上影响大豆的光能截获量, 从而导致其干物质积累、产量及产量构成的差异^[36-37]。本研究中套作大豆各器官生物量均随玉米窄行距的增加而显著减小, 表明由于减小玉米宽行距使大豆与玉米对光的竞争增大, 大豆有机物合成随光截获的减少而降低。杨峰等^[38]研究也表明增加玉米窄行距会减小大豆地上部生物量。盛英期大豆无玉米遮荫使叶片光合同化能力增强, 生物量迅速积累, 但由于前期受遮荫, 与单作相比套作大豆各部分生物量仍相差较大。所以本研究表明, 适当减小玉米窄行距, 能够较好地协调玉米和大豆对光热资源的利用, 缩小两种作物产量对系统产量的贡献率差值, 使系统产量构成最为和谐, 综合生产能力最强。

4 结论

随玉米窄行距的增大, 玉米/大豆带状种植模式下作物对光资源的竞争加剧, 大豆冠层的光合有效辐射和透光率随之降低, 导致大豆茎粗减小、节间数和主茎长增大、叶片光合色素的含量降低, 影响了大豆的光合作用和物质分配进而影响到生物量和产量。不同玉米株型下, 大豆形态生理指标无显著差异。玉米窄行距在 40 cm 时, 能较好地协调玉米大豆生长, 使综合产量最高, 达到最大的土地当量比。因此, 玉米窄行距适度缩小, 选择紧凑或半紧凑玉米品种, 可以改善带状套作大豆生长环境, 更有利于协调带状套作系统中玉米和大豆发挥高产潜力。

参考文献 References

- [1] MUCHERU-MUNA M, PYPERS P, MUGENDI D, et al. A staggered maize-legume intercrop arrangement robustly increases crop yields and economic returns in the highlands of Central Kenya[J]. *Field Crops Research*, 2010, 115(2): 132-139
- [2] 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
- [3] 杨文钰, 雍太文, 任万军, 等. 发展套作大豆, 振兴大豆产业[J]. *大豆科学*, 2008, 27(1): 1-7
YANG W Y, YONG T W, REN W J, et al. Develop relay-planting soybean, revitalize soybean industry[J]. *Soybean Science*, 2008, 27(1): 1-7
- [4] 杨文钰, 杨峰, 雍太文. 我国间套作大豆研究方向和发展对策研讨会纪要[J]. *大豆科技*, 2011, (1): 35-36

- YANG W Y, YANG F, YONG T W. Summaries of the research direction and development strategy of intercropped soybean in China[J]. *Soybean Science & Technology*, 2011, (1): 35-36
- [5] LITHOURGIDIS A S, DORDAS C A, DAMALAS C A, et al. Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture[J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2011, 5(4): 396-410
- [6] ZHU Y Y, CHEN H R, FAN J H, et al. Genetic diversity and disease control in rice[J]. *Nature*, 2000, 406(6797): 718-722
- [7] LI L, LI S M, SUN J H, et al. Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(27): 11192-11196
- [8] YANG F, HUANG S, GAO R C, et al. Growth of soybean seedlings in relay strip intercropping systems in relation to light quantity and red: Far-red ratio[J]. *Field Crops Research*, 2014, 155: 245-253
- [9] AMOSSÉ C, JEUFFROY M H, DAVID C. Relay intercropping of legume cover crops in organic winter wheat: Effects on performance and resource availability[J]. *Field Crops Research*, 2013, 145: 78-87
- [10] 杨燕竹. 不同播期衔接对玉米-大豆间作体系下作物干物质积累及产量的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016
YANG Y Z. Effects of different sowing time on dry matter accumulation and yield of maize-soybean intercropping[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2016
- [11] 陈光荣, 杨文钰, 张国宏, 等. 薯/豆套作模式下不同熟期大豆品种的生长补偿效应[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(3): 455-467
CHEN G R, YANG W Y, ZHANG G H, et al. Compensation effect of different soybean varieties in potato/soybean intercropping systems[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(3): 455-467
- [12] 周劲波, 杨国敏, 孙淑娟, 等. 不同株行距配置对夏大豆群体结构及光截获的影响[J]. *生态学报*, 2010, 30(3): 691-697
ZHOU X B, YANG G M, SUN S J, et al. Effect of different plant-row spacing on population structure and PAR interception in summer soybean[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(3): 691-697
- [13] 朱星陶, 谭春燕, 陈佳琴, 等. 玉米-大豆间作行距对大豆生长及品质的影响[J]. *贵州农业科学*, 2016, 44(6): 22-25
ZHU X T, TAN C Y, CHEN J Q, et al. Effects of intercropping row spacing between maize and soybean on growth and quality of soybean[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2016, 44(6): 22-25
- [14] 杨峰, 崔亮, 武晓玲, 等. 不同空间配置套作大豆后期农学参数及光谱特征分析[J]. *中国油料作物学报*, 2012, 34(3): 268-272
YANG F, CUI L, WU X L, et al. Soybean agronomic and hyperspectral characteristics at later stage under spatial patterns of maize - soybean intercropping[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2012, 34(3): 268-272

- [15] 王竹, 杨文钰, 伍晓燕, 等. 玉米株型和幅宽对套作大豆初花期形态建成及产量的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(2): 323-329
WANG Z, YANG W Y, WU X Y, et al. Effects of maize plant type and planting width on the early morphological characters and yield of interplanted soybean[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(2): 323-329
- [16] 卢凤芝. 不同带宽对玉米-大豆带状套作系统作物养分积累竞争和产量的影响[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014
LU F Z. Effects of different strip-widths on grain yield, crop nutrition accumulation and competitiveness in maize and soybean relay strip intercropping system[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2014
- [17] 梁建秋, 曾宪堂, 张明荣, 等. 四川主要大豆品种生育期组划分的研究[J]. 大豆科学, 2014, 33(1): 13-16
LIANG J Q, ZENG X T, ZHANG M R, et al. Classification on maturity groups of main soybean cultivars in Sichuan[J]. Soybean Science, 2014, 33(1): 13-16
- [18] FEHR W R, CAVINESS C E, BURMOOD D T, et al. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L). Merrill[J]. Crop Science, 1971, 11(6): 929-931
- [19] 李艳大, 汤亮, 张玉屏, 等. 水稻冠层光截获与叶面积和产量的关系[J]. 中国农业科学, 2010, 43(16): 3296-3305
LI Y D, TANG L, ZHANG Y P, et al. Relationship of PAR interception of canopy to leaf area and yield in rice[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(16): 3296-3305
- [20] HERTEL C, LEUCHNER M, ROTZER T, et al. Assessing stand structure of beech and spruce from measured spectral radiation properties and modeled leaf biomass parameters[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2012, 165: 82-91
- [21] SIMS D A, GAMON J A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages[J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 81(2/3): 337-354
- [22] MATHEW J P, HERBERT S J, ZHANG S H, et al. Differential response of soybean yield components to the timing of light enrichment[J]. Agronomy Journal, 2000, 92(6): 1156-1161
- [23] ECHARTE L, MAGGIORA A D, CERRUDO D, et al. Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean[J]. Field Crops Research, 2011, 121(3): 423-429
- [24] BORGHI E, COSTA C, NASCENTE A S, et al. Effects of row spacing and intercrop on maize grain yield and forage production of palisade grass[J]. Crop and Pasture Science, 2013, 63(12): 1106-1113
- [25] APHALO P J, BALLARÉ C L, SCOPEL A L. Plant-plant signaling, the shade-avoidance response and competition[J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50(340): 1629-1634
- [26] 高仁才, 杨峰, 廖敦平, 等. 行距配置对套作大豆冠层光环境及其形态特征和产量的影响[J]. 大豆科学, 2015, 34(4): 611-615
GAO R C, YANG F, LIAO D P, et al. Effects of different row spacings of maize on light environment, morphological characteristics and yield of soybeans in a relay intercropping system[J]. Soybean Science, 2015, 34(4): 611-615
- [27] 杨峰, 黄山, 崔亮, 等. 玉米/大豆套作下作物叶片氮、磷动态特征及其相关性分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(4): 781-789
YANG F, HUANG S, CUI L, et al. Dynamic changes and correlations of P and N concentrations in crop leaves under relay intercropping system of maize and soybean[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(4): 781-789
- [28] 吴其林, 王竹, 杨文钰. 苗期遮荫对大豆茎秆形态和物质积累的影响[J]. 大豆科学, 2007, 26(6): 868-872
WU Q L, WANG Z, YANG W Y. Seedling shading affects morphogenesis and substance accumulation of stem in soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(6): 868-872
- [29] DUDLEY S A, SCHMITT J. Genetic differentiation in morphological responses to simulated foliage shade between populations of *impatiens capensis* from open and woodland sites[J]. Functional Ecology, 1995, 9(4): 655-666
- [30] 陈兵, 王克如, 李少昆, 等. 病害胁迫对棉叶光谱反射率和叶绿素荧光特性的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 86-93
CHEN B, WANG K R, LI S K, et al. The effects of disease stress on spectra reflectance and chlorophyll fluorescence characteristics of cotton leaves[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9): 86-93
- [31] 王锐, 杨峰, 张勇, 等. 套作大豆后期叶片叶绿素荧光特性及光谱特征分析[J]. 核农学报, 2015, 29(6): 1182-1189
WANG R, YANG F, ZHANG Y, et al. The Analysis of chlorophyll fluorescence parameters and hyperspectral characteristics of soybean after maize harvest under relay intercropping systems[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2015, 29(6): 1182-1189
- [32] 刘悦秋, 孙向阳, 王勇, 等. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3457-3464
LIU Y Q, SUN X Y, WANG Y, et al. Effects of shades on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of *urtica dioica*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(8): 3457-3464
- [33] 赵丽英, 邓西平, 山仑. 渗透胁迫对小麦幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1261-1264
ZHAO L Y, DENG X P, SHAN L. Effects of osmotic stress on chlorophyll fluorescence parameters of wheat seedling[J]. Chinese Journal of applied Ecology, 2005, 16(7): 1261-1264
- [34] 张治安, 陈展宇. 植物生理学[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2009: 105-106
ZHANG Z A, CHEN Z Y. Plant Physiology[M]. Changchun: Jilin University Press, 2009: 105-106
- [35] 宋艳霞, 杨文钰, 李卓玺, 等. 不同大豆品种幼苗叶片光合及叶绿素荧光特性对套作遮荫的响应[J]. 中国油料作物学报, 2009, 31(4): 474-479
SONG Y X, YANG W Y, LI Z X, et al. The effects of shading on photosynthetic and fluorescent characteristics of soybean seedlings under maize-soybean relay cropping[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2009, 31(4): 474-479
- [36] 王勋, 戴廷波, 姜东, 等. 不同生态环境下水稻基因型产量形成与源库特性的比较研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 615-619

- WANG X, DAI T B, JIANG D, et al. Yield-formation and source-sink characteristics of rice genotypes under two different eco-environments[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2005, 16(4): 615-619
- [37] 崔亮, 杨文钰, 黄妮, 等. 玉米-大豆带状套作下玉米株型对大豆干物质积累和产量形成的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(8): 2414-2420
- CUI L, YANG W Y, HUANG N, et al. Effects of maize plant types on dry matter accumulation characteristics and yield of

- soybean in maize-soybean intercropping systems[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(8): 2414-2420
- [38] 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

现代农业与生态文明

——普通高等教育“十三五”规划教材 新型生态科学系统

现代农业的产生是人们对人与自然关系反思的成果。现代农业是以现代产业组织为纽带,以现代产业理念为指导,以现代科技为支撑,连接一、二、三产业的农业经济体系。现代农业有别于传统农业,除了生产方式与手段不同,还有更重要的是理念的差异,表现在现代农业在空间上的突破,由产中延伸到产前和产后,并形成了一条“产加销”一体化的现代农业产业链。

生态文明是人们对人与自然关系审视的产物,是一种后工业文明。目前生态环境的恶化,应当归因于全球性工业化进程,因为工业经济必须以消耗大量的资源为代价,而伴随着以能源为主体的资源被耗竭,以及过度的环境污染。同时,传统农业对化石能源的过分依赖,使农村环境问题突出。因此,要把握生态文明建设带给现代农业的机遇,将现代农业做大做强。只有农业生态文明得到大力发展,才能以农业促农村,以农业富农民,并实现农业可持续发展。

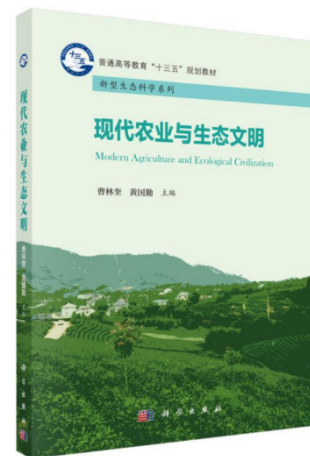
“现代农业与生态文明”是运用系统工程原理、生态学理论和现代农业科学技术成果,研究现代农业可持续发展和农村生态文明建设的一门新学科。是现代农学、生态学、生物技术等有关学科沟通的桥梁,又是农业科学、信息科学、经济学、管理学和社会学等多学科研究成果的综合应用。同时反映了现代农业与生态文明研究领域提出的一些新的观点和思考。

《现代农业与生态文明》一书重点阐述现代农业的产业特征与有关高新技术、科学管理的应用;分析现代农业的系统观、融合观、生态文明观和可持续发展观等新观念;提出现代农业可持续发展的途径和农村生态文明建设的策略。主要内容有现代农业发展与生态文明建设的关系;生态文明的内涵和特征;农耕文化与生态文明建设;现代农业的特征和发展趋势;生态文明建设的研究与实践;我国农村生态文明建设;农业产业结构调整策略;农业信息化与精准农业;休闲农业与乡村旅游;现代农业的可持续发展战略等。

《现代农业与生态文明》是我国首部有关农业生态文明理论与实践的著作,这紧紧抓住我国城乡发展的趋向,以科教主导产业转型,思想水平高,同时融入了现代科学技术及研究成果,具有较高的理论价值。本书阐述了农业生态文明的建设重点,抓住了众所关注的焦点及热点,并创造性地提出了不少新观念,诸如系统观、融合观、生态文明观和可持续发展观等,对创建具有中国特色的现代农业具有指导作用。本书讲究理论密切联系实际,既集中反映了学术界的共识,也融进了作者的独到见解与考察案例,可见教材的科学性较强。同时,书中文句流畅,图文并茂,各章节结构体系合理,方便了教学的开展。

本书由曹林奎教授和黄国勤教授主编,由上海交通大学联合江西农业大学、浙江大学、安徽农业大学、上海科技馆等高校和科研单位的专家、学者,共同组织编写,集中了我国重点大学现代农业与生态文明研究领域优秀的作者,教学和科学水平高。

主要的读者对象为普通高等农业院校本科生校级通识课程教材和生态农业研究领域相关专业本科生和研究生的教学参考书,并可供从事以上相关专业的普通高等农业院校师生、农业科研和农村技术人员、以及农村第一线领导干部参考。



曹林奎 黄国勤