

不同品种春夏玉米套作模式中夏玉米光合特性 与产量的关系*

宁堂原¹ 焦念元² 赵春³ 邵国庆¹ 尉晶⁴
金福深⁴ 李增嘉^{1**}

(1. 山东农业大学农学院 作物生物学国家重点实验室 泰安 271018; 2. 河南科技大学农学院 洛阳 471003;
3. 东营职业学院农业工程系 东营 257091; 4. 山东省龙口市农业技术推广中心 龙口 265701)

摘要 以单作夏玉米为对照,早熟品种“鲁原单14”、中熟品种“掖单22”、晚熟品种“掖单13”分别作为春玉米和夏玉米进行两两套作,研究品种选择对春夏玉米套作体系中夏玉米光合性能以及产量的影响。研究表明,春玉米生长期的延长会降低套种夏玉米的花后平均全株叶面积、穗位叶面积、照光叶面积、光能截获率、叶绿素含量、硝酸还原酶活性和光合速率。为了解释夏玉米光合特性变化与产量的关系,本文提出了“光合生产力积”的概念,即光合面积、光合能力和光合时间中2个或3个因子的积。与单项光合性能指标相比,“光合生产力积”与产量的相关关系显著性提高。与花后叶日积相比,叶面积×叶绿素含量×花后天数、叶面积×光合速率×花后天数与产量的相关系数显著性更高。因此,不同种植制度下夏玉米的产量差异是光合面积、光合性能和光合持续期共同作用的结果,为发挥春夏玉米套作模式的产量优势,春玉米应选用中熟品种,夏玉米应选用生育期较长的高产品种。“光合生产力积”为深入研究复合群体的产量及品质优势来源提供了新的视角。

关键词 玉米品种 种植制度 光合特性 玉米产量 光合生产力积

中图分类号: S344.3; S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2009)03-0459-06

Effect of intercropping summer and spring maize on photosynthesis and yield of summer maize

NING Tang-Yuan¹, JIAO Nian-Yuan², ZHAO Chun³, SHAO Guo-Qing¹, WEI Jing⁴,
JIN Fu-Shen⁴, LI Zeng-Jia¹

(1. State Key Laboratory of Crop Biology, College of Agronomy, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China;
2. College of Agronomy, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China;
3. Department of Agricultural Engineering, Dongying Vocational College, Dongying 257091, China;
4. Longkou Center for Agro-technology Extension, Longkou 265701, China)

Abstract Three cultivars of maize (the early maturity cultivar of “Luyundan14”, the medium maturity cultivar of “Yedan22” and the late maturity cultivar of “Yedan13”) were selected to study the effect of maize cultivars on the photosynthetic characteristics and yield of summer maize intercropped with spring maize and monocropped one. The results show that late maturity spring maize cultivar reduces leaf area, light interception rate, chlorophyll content, nitrate reductase activity, and the rate of photosynthesis of summer maize after anthesis under intercropping. To further analyze the relationship between photosynthetic characteristics and the yield of summer maize, the concept of “photosynthetic productivity product (PPP)” was developed. PPP is the product of two or more factors including photosynthetic leaf area, photosynthetic capacity and photosynthetic duration. Compared with single photosynthetic character, PPP is more significantly correlated with yield. Furthermore, the arithmetic product of leaf area, ear leaf chlorophyll content

* 国家自然科学基金项目(39870524)、2008年公益性行业(农业)科研专项经费(200803028)和山东省中青年科学家科研奖励基金(2007BS06017)资助

** 通讯作者: 李增嘉(1954-),男,博士,教授,主要从事高产高效种植制度及农业生态学研究。E-mail: lizj@sdau.edu.cn

宁堂原(1976-),男,博士,副教授,主要从事农业资源利用、农业生态学及高产优质高效种植制度等研究。E-mail: ningty@sdau.edu.cn

收稿日期: 2008-04-15 接受日期: 2008-08-25

and days after anthesis, and that of leaf area, photosynthetic rate of ear leaf and days after anthesis are more closely related to yield than the arithmetic product of leaf area and days after anthesis. In conclusion therefore, the differences in yield under different cropping systems are the common actions of photosynthetic leaf area, capacity and duration. Thus medium maturity cultivars of spring maize and late maturity cultivars of summer maize are beneficial to total yield under intercropping. PPP provides a new and efficient analytical dimension for yield and quality superiority in intercropping.

Key words Maize cultivar, Cropping system, Photosynthetic characteristics, Maize yield, Photosynthetic productivity product (Received April 15, 2008; accepted Aug. 25, 2008)

玉米是我国重要的饲料作物,随着畜牧业的快速发展,其秸秆和籽粒需求量日益增加^[1]。春夏玉米套作具有高产、优质、高效等特点,近年来在一年一熟有余两熟不足的黄淮海地区得到较好推广^[2,3]。有研究表明,作物的光合性能是决定作物产量形成的关键^[4,5],间套作复合群体的高产、高效特性主要是通过增加叶面积指数和延长光合时间等引起光能利用率的提高而获得^[6-9]。为此,刘巽浩^[9]提出了“叶日积(LAD)”的指标,并指出 LAD 提高和高值持续期的延长是间套作复合群体光能利用率和产量提高的重要原因。但本文在用 LAD 分析春夏玉米套作模式中的夏玉米产量形成原因时,却发现有些处理的 LAD 较高,但其产量却较低。其原因除与 LAD 未考虑光合产物消耗有关外,也可能与 LAD 未考虑叶片光合指标、群体光能截获率等光合性能对产量的影响有关。在禾本科作物间套作复合群体中,作物间往往存在较强的地上部光竞争和地下部养分与水分竞争^[10,11],而这些竞争可能会使单位光合面积的光能截获量减少、光合色素含量降低甚至光合效率下降,从而加大了单位光合面积的光合性能对产量的影响,降低了 LAD 与产量的相关性。同时,合理的品种搭配可以缓和间套作复合群体中作物间的竞争,有利于充分发挥复合群体的产量优势^[2,12,13]。目前从光合特性方面综合分析复合群体产量优势来源的研究报道尚较少。本文以不同熟期品种春夏玉米套作和夏玉米单作为研究对象,研究了不同种植制度下夏玉米光合性能的差异及其与产量的关系,提出了“光合生产力积”指标,以更好地解释套作与单作条件下夏玉米产量差异的原因,为深入研究复合群体的产量及品质优势来源提供了新的视角,并总结出春夏玉米套作全年高产的适宜品种类型,为春夏玉米套作高效种植体系的推广提供了理论依据与技术支持。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2000~2001 年在山东农业大学农学试验站进行。土壤肥力状况为有机质 18.1 g·kg⁻¹,全氮 1.3 g·kg⁻¹,碱解氮 152 mg·kg⁻¹,速效磷 45.1

mg·kg⁻¹,速效钾 117 mg·kg⁻¹,排灌良好。试验设春夏玉米套作和夏玉米单作 2 种植制度,随机区组设计。玉米品种为早熟品种“鲁原单 14”(LD14)、中熟品种“掖单 22”(YD22)、晚熟品种“掖单 13”(YD13)。套作处理中,3 个品种分别作为春玉米和夏玉米两两相互套作,共 9 种套作组合。同时,3 个品种分别作为夏玉米单作。春玉米 3 月 15 日播种,株距 15 cm,大小行种植,大行距 160 cm,小行距 40 cm,密度为 67 500 株·hm⁻²;夏玉米于 6 月 25 日播在春玉米大行行间,株距、行距与春玉米相同。单作夏玉米与套作条件下的夏玉米播期、密度和田间配置均相同,只是大行间为空带,不套作春玉米。各处理均施 N 375 kg·hm⁻²,其中 1/3 基施,2/3 于大口期追施。每处理均基施 P₂O₅ 120 kg·hm⁻²、K₂O 150 kg·hm⁻²。小区面积 90 m²,3 次重复,套作每小区种植 3 个组合带。

1.2 研究方法

土壤肥力测定时,有机质用水合热-氧化反应法,碱解氮用扩散法,速效磷用钼蓝比色法,速效钾用比浊法,记录玉米生育期进程。夏玉米开花期开始取样,每间隔 10 d 取样 1 次。取样时,选代表性植株 10 株,测定全株和穗位叶叶面积。并取玉米穗位叶 3 片,于叶片中部取样,混匀,测定叶绿素含量和硝酸还原酶活性^[14]。同时,用 LI-6400 光合测定系统于上午 10:00~12:00 测定穗位叶光合速率,测定部位为玉米穗位叶中部,每个处理测定 5 株具有代表性的植株。用 AccuPAR 植物冠层分析仪 LP-80 测定光能截获率和照光叶面积。成熟期取样,把籽粒和其他地上部器官分开,105℃ 下杀青 30 min,80℃ 烘至恒重,1/1000 天平称重,计算秸秆、籽粒和生物产量。

用 SPSS 11.5 软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同品种春夏玉米套作对夏玉米光合性能的影响

品种和种植制度对夏玉米花后平均全株叶面积、穗位叶面积和照光叶面积指数均有显著影响(表 1)。与单作相比,和早熟春玉米套作的夏玉米花后平

表1 不同品种春夏玉米套作对夏玉米光合性能的影响
Tab. 1 Effects of interplanting of different maize cultivars on photosynthesis characters of summer maize

处理 Treatment	编号 Code	LA_p (cm^2)	LA_e (cm^2)	LAI_p	LCR (%)	CC ($\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	P_n [$\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]	NR [$10^{-2} \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}(\text{FW}) \cdot \text{h}^{-1}$]	DAA (d)
LD14/LD14	1	5 440 b	628 c	4.24 a	93.4 ab	14.58 c	39.94 d	14.86 c	54
LD14/YD22	2	5 215 c	670 a	4.23 a	94.1 a	14.83 bc	45.26 b	21.74 a	52
LD14/YD13	3	5 784 a	684 a	3.93 b	91.9 b	17.04 a	48.15 a	14.91 c	60
YD22/LD14	4	4 478 f	634 bc	3.32 d	87.6 c	14.26 d	43.30 c	16.58 b	50
YD22/YD22	5	4 621 e	592 d	3.71 c	90.0 b	13.87 e	42.20 cd	11.84 d	48
YD22/YD13	6	5 272 c	655 b	3.93 b	91.6 b	15.04 b	46.52 ab	20.82 a	57
YD13/LD14	7	4 460 f	572 e	2.43 f	79.1 d	15.14 b	33.26 f	10.15 de	47
YD13/YD22	8	4 367 g	656 b	1.70 g	67.0 e	14.68 c	36.52 e	12.22 d	50
YD13/YD13	9	4 430 f	633 bc	2.39 f	78.9 d	13.34 f	34.84 f	9.77 e	58
LD14	10	4 952 d	695 a	3.93 b	95.0 a	13.77 e	41.12 d	8.13 f	48
YD22	11	4 689 e	660 b	3.07 e	90.8 b	15.32 b	43.42 c	16.43 b	51
YD13	12	4 953 d	650 b	3.64 c	93.8 a	15.11 b	46.24 ab	15.35 c	65

不同小写字母表示差异达5%显著水平 Different small letters show significant difference at 5% level; LA_p 为全株叶面积 Leaf area per plant; LA_e 为穗位叶面积 Ear leaf area per plant; LAI_p 为照光叶面积指数 Photosynthetic leaf area index; LCR 为光能截获率 Light capture rate; CC 为穗位叶叶绿素含量 Chlorophyll content of ear leaf; P_n 为穗位叶光合速率 Photosynthesis rate of ear leaf; NR 为穗位叶硝酸还原酶活性 Nitrate reductase activity of ear leaf; DAA 为夏玉米开花后天数 Days after anthesis. 下同 The same below.

均全株叶面积、穗位叶面积和照光叶面积指数大都显著高于单作; 而与中、晚熟春玉米套作的夏玉米除 YD22/YD22、YD22/YD13 模式外, 花后平均全株叶面积、穗位叶面积和照光叶面积指数均低于或显著低于单作。与不同春玉米套作的同一夏玉米全株叶面积随着春玉米生长期的延长而降低; 与中、晚熟春玉米套作的平均全株叶面积分别比与早熟春玉米套作的低 12.6%和 19.4%。与同一早、中熟春玉米套作, 各品种夏玉米全株叶面积表现为晚熟品种 > 早、中熟品种; 但与晚熟春玉米套作却不同。与不同春玉米套作的同一夏玉米穗位叶面积, 除 YD22 以与中熟春玉米 YD22 套作最低外, 均表现为与早、中熟春玉米套作 > 与晚熟春玉米套作。除 YD22 外, 与同一早、中熟春玉米套作时, 夏玉米穗位叶面积均随着生长期的延长而增大; 而与晚熟春玉米套作时, 夏玉米穗位叶面积则以 YD22 最高, 其次是 YD13, LD14 最低。与不同春玉米套作的同一夏玉米的照光叶面积指数, 均表现为与早熟春玉米 LD14 套作 > 与中熟春玉米 YD22 套作 > 与晚熟春玉米 YD13 套作。与早熟春玉米套作时, 夏玉米花后平均照光叶面积指数均随其总生长期的延长而减小; 与中熟春玉米套作时, 夏玉米花后平均照光叶面积指数随其总生长期的延长而增大; 而与晚熟春玉米套作时, 夏玉米花后平均照光叶面积指数以 YD13/YD22 模式最低, 其余两个模式差异不显著。

品种和种植制度对夏玉米花后平均光能截获率

均有显著影响(表 1)。与单作相比, 除 LD14/YD22 模式外, 套作夏玉米的花后平均光能截获率均低于单作, 这是造成套作夏玉米产量低于单作的重要原因之一。与不同春玉米套作的同一夏玉米花后平均光能截获率随着春玉米生长期的延长而降低或显著降低。品种和种植制度对夏玉米花后平均光能截获率与照光叶面积指数的影响趋势基本一致。

品种和种植制度对夏玉米花后穗位叶平均叶绿素含量也有显著影响(表 1)。与单作相比, 套作早熟夏玉米的花后穗位叶平均叶绿素含量均显著高于单作; 而套作中、晚熟夏玉米, 除 LD14/YD13 模式外, 花后穗位叶平均叶绿素含量均低于单作, 其中与晚熟春玉米套作与单作处理差异达显著水平。与不同春玉米套作的同一夏玉米叶绿素含量随着春玉米生长期的延长有降低的趋势。与早、中熟春玉米套作的各夏玉米, 除 YD22/YD22 组合外, 叶绿素含量均表现为随着夏玉米生长期的延长而增加; 而与晚熟春玉米套作的夏玉米叶绿素含量则随着夏玉米生长期的延长而降低。

从总体看, 当与早熟春玉米套作时, 夏玉米花后穗位叶平均光合速率高于单作; 而与中熟春玉米套作时, 夏玉米花后穗位叶平均光合速率与单作差异不显著; 但与晚熟春玉米套作时, 夏玉米花后穗位叶平均光合速率却显著低于单作。套作条件下, 夏玉米花后穗位叶平均光合速率与春玉米生长期的长短呈负相关。当与同一春玉米套作时, 光合速率

基本表现为中、晚熟夏玉米高于早熟夏玉米。

与早、中熟春玉米套作的夏玉米,其花后穗位叶平均硝酸还原酶活性更多地高于单作;而与晚熟春玉米套作时,夏玉米的花后穗位叶平均硝酸还原酶活性却显著低于单作。说明春玉米生育期较短时,较弱的竞争会提高夏玉米的硝酸还原酶活性;而当竞争较强时,夏玉米硝酸还原酶活性会显著降低。同一夏玉米与不同春玉米套作时,穗位叶硝酸还原酶活性基本表现为与春早、中熟套作 > 与春晚熟套作。当与同一春玉米套作时,与春 YD22 套作夏 YD22 硝酸还原酶活性最低,与其他春玉米套作夏 YD22 硝酸还原酶活性最高。还可看出,除与春 LD14 套作外,套作时夏玉米花后天数均低于单作。夏 LD14 与不同春玉米套作时,花后天数随春玉米生长期的延长而缩短。而套作的夏 YD22 和夏 YD13 花后天数则表现为与早熟春玉米套作 > 与中、晚熟春玉米套作。

2.2 不同品种春夏玉米套作对夏玉米秸秆、籽粒和生物产量的影响

不同品种组合对套作体系中夏玉米的秸秆、籽粒和生物产量均有显著影响(图 1)。当夏玉米为同一品种时,其各器官及全株生物产量均表现为与早熟春玉米 LD14 套作 > 与中熟春玉米 YD22 套作 > 与晚熟春玉米 YD13 套作。与中、晚熟春玉米套作的夏玉米生物产量分别比与早熟春玉米套作的夏玉米低 20.2%和 29.6%,籽粒产量分别低 22.4%和 29.2%。3 个品种与早熟春玉米 LD14 套作,平均籽粒产量比单作提高 8.5%;而与中、晚熟春玉米套作,籽粒产量比单作平均减少 16.1%和 23.2%。表明套作条件下,春玉米生育期的延长不利于夏玉米产量形成;但与早熟春玉米套作时,群体中的适度竞争使夏玉米产量高于单作。

2.3 不同品种春夏玉米套作夏玉米光合特性与产量的相关分析

由表 2 可知,与夏玉米籽粒产量相关关系达显著水平的有花后平均全株叶面积、光合速率和花后天数,而与生物产量相关关系达显著水平的有花后平均全株叶面积、光能截获率和光合速率。而各光合特性指标中,仅花后平均全株叶面积与生物产量间相关关系达极显著水平,其余单项光合指标与籽粒产量和生物产量间的相关关系均未达显著水平。但就光合生产力积而言,则更多地与籽粒产量和生物产量的相关关系达显著及以上水平(表 3)。其中,以花后平均全株叶面积计算的光合生产力积与籽粒产量和生物产量的相关关系最显著。以花后平均穗位叶面积和照光叶面积指数计算的光合生产力积 LAN 与籽粒产量和生物产量间的相关关系未达显著水平,但乘以花后天数后, $LAND$ 与籽粒产量相关系数达显著水平。对同一光合特性指标来说,当乘以

表 2 不同品种春夏玉米套作夏玉米光合特性与产量的相关分析

Tab. 2 Correlation analysis between photosynthetic characters and yields of summer maize under different cropping systems

项目 Item	籽粒产量 Grain yield	生物产量 Biomass
LA_p	0.774*	0.882**
LA_e	0.489	0.638
LA_i	0.527	0.659
LCR	0.540	0.729*
CC	0.639	0.465
P_n	0.766*	0.730*
NR	0.557	0.473
NAA	0.753*	0.542

*和**分别代表相关系数或回归方程显著性达 0.05 和 0.01 水平
* and ** indicate the relationship reaches 0.05 and 0.01 significant level, respectively.

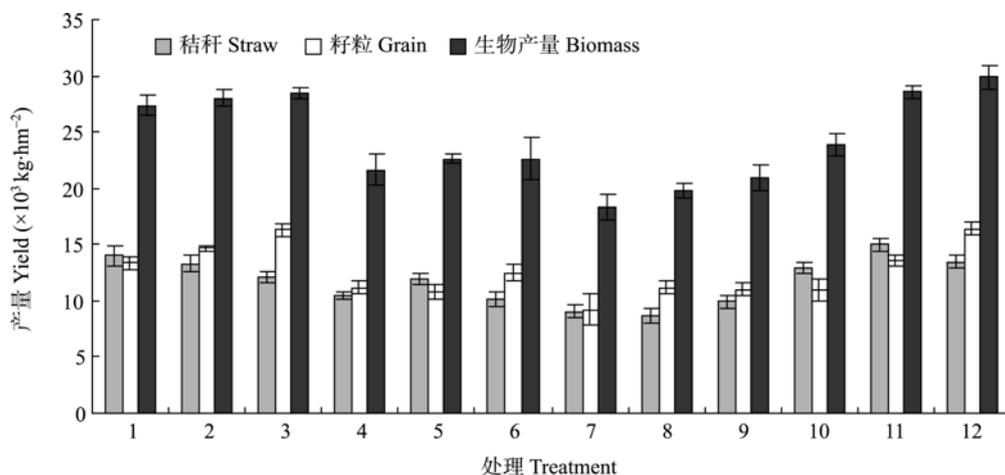


图 1 不同品种春夏玉米套作对夏玉米秸秆、籽粒和生物产量的影响

Fig. 1 Effects of interplanting of different maize cultivars on the straw, grain and biomass yield of summer maize

表3 不同品种春夏玉米套作夏玉米光合生产力积与产量的相关分析
Tab. 3 Correlation analysis between photosynthetic production products and yields of summer maize under different cropping systems

项目 Item	籽粒产量 Grain yield			生物产量 Biomass		
	<i>p</i>	<i>e</i>	<i>i</i>	<i>p</i>	<i>e</i>	<i>i</i>
LAC	0.852**	0.706*	0.662	0.872**	0.687*	0.729*
LAP	0.850**	0.762*	0.654	0.886**	0.788*	0.720*
LAN	0.759*	0.638	0.617	0.724*	0.578	0.604
LAD	0.907**	0.790*	0.744*	0.870**	0.693*	0.764*
LACD	0.930**	0.856**	0.818**	0.850**	0.713*	0.788*
LAPD	0.925**	0.877**	0.799**	0.867**	0.783*	0.778*
LAND	0.849**	0.761*	0.719*	0.761*	0.645	0.658

LAC=LA_x×CC, LAP= LA_x×Pn, LAN= LA_x×NR, LAD= LA_x×DAA, LACD= LA_x×CC×DAA, LAPD= LA_x×Pn×DAA, LAND= LA_x×NR×DAA; x=p, e, i.

花后天数后, 其与产量的相关系数均增大。与常用的光合生产力积LAD相比, LACD和LAPD与籽粒产量和生物产量的相关系数显著性最高。说明当处理间差异较大, 或与单作相比时, 光合叶面积、光合性能与光合持续期的乘积能更好地解释产量形成的原因。

3 讨论

3.1 “光合生产力积”及其在复合群体优势分析中的运用

光合性能相关因子间的乘积定义为光合生产力积, 它是光合面积、光合能力和光合时间中2个或3个因子的乘积。从相关分析看, 单项光合性能指标中, 仅花后平均全株叶面积、光能截获率、光合速率和花后天数与籽粒产量或(和)生物产量间相关关系达显著以上水平。但光合生产力积与籽粒产量和生物产量的相关关系显著的数量增多、显著性提高, 且随着涉及因子的增多显著性有增加的趋势。与花后叶日积相比^[9], LACD和LAPD与籽粒产量和生物产量的相关系数显著性更高, 能够更好地解释套作条件下产量形成的原因。其原因是通过叶日积分析时, 默认的前提是光合性能, 如花后平均穗位叶叶绿素含量和光合速率, 不存在差异或其差异对产量影响不显著。当光合性能差异较大时, 叶日积与复合群体产量的相关显著性下降。从显著性上看, 同样是3因子光合生产力积, LAPD>LACD>LAND。尽管叶绿素含量和硝酸还原酶活性与光合速率密切相关, 但因前两者是潜力指标, 后者是现实指标, 它们进行转化时还受很多因素的影响^[5]。

3.2 夏玉米光合特性与产量的关系

与单作相比, 和早熟春玉米套作时, 夏玉米的光合性能有高于单作的趋势; 而与中、晚熟春玉米

套作时, 夏玉米的光合性能则往往低于单作。与不同春玉米套作的同一夏玉米叶绿素含量、硝酸还原酶活性等随着春玉米生长期的延长有降低的趋势。单作条件下的研究表明, 作物营养和水分的亏缺会造成单位面积光合色素含量降低, 从而大大降低单位面积的光合能力^[15,16]; 同时作物受光条件的变劣也会减少作物对光能的截获和利用^[17], 这些光合性能的变化均显著影响作物产量^[18]。而间套作体系中, 作物间较强的光能、营养和水分等竞争^[10,11]可能会使间套作复合群体中作物的光合性能产生与单作条件下肥水胁迫或者遮光相同的变化。本研究表明, 这些竞争降低复合群体中作物的光合性能, 使作物光合面积减少、叶绿素含量降低、硝酸还原酶活性降低及光合速率下降。因此, 尽管有些处理有较高的LAD, 但由于单位面积单位时间内的光合能力下降幅度较大, 因而其产量并不一定高。而LACD和LAPD由于考虑了单位面积的光合性能因素, 与籽粒产量和生物产量的相关系数显著性高于LAD。从“光合生产力积”可以看出, 与早熟春玉米套作, 春、夏玉米间的竞争较弱, 夏玉米光合性能的增强和光合持续期的延长可以弥补因与春玉米竞争而造成的叶面积减少, 且夏玉米生育期长利于其在春玉米收获后进行“补偿性”生长^[11], 因此产量与单作差异不显著。而与晚熟春玉米套作时, 春夏玉米间的竞争随着共处期的延长而增加, 竞争尽管延长了夏玉米的生育期, 但却缩短了其花后天数, 降低了花后光合性能, 因而其产量显著低于单作。因此, 套作条件下产量不同于单作是光合面积、光合性能及光合持续期共同作用的结果, 必须合理进行品种搭配, 以协调春玉米与夏玉米的关系, 获得全年最高产量。Hauggaard-Nielsen等^[12]研究表明选用竞争适度且光能截获能力较高的品种会提高间套作的产量优势。

而 Akanvou 等^[13]认为在豆类与水稻套作时, 豆类选择竞争力较强的品种更有利于高产。结合已有研究^[2,3], 为提高春夏玉米套作的产量优势, 春玉米宜选用产量较高的中早熟品种, 夏玉米宜选用生育期较长的高产品种。

4 结论

与花后 *LAD* 相比, *LACD* 和 *LAPD* 与籽粒产量和生物产量的相关系数显著性更高, 能够更好地解释套作条件下产量形成的原因。这为深入研究复合群体的产量及品质优势来源提供了新的视角。在春夏玉米套作体系中, 套作条件下产量不同于单作是光合面积、光合性能及光合持续期共同作用的结果。为获得较高的全年产量, 夏玉米宜选用生育期较长的高产品种。

参考文献

- [1] 佟屏亚. 确立玉米在饲料中的主导地位[J]. 中国农业资源与区划, 1995 (3): 24-27
- [2] 宁堂原, 李增嘉, 焦念元, 等. 不同熟期玉米品种春夏套作对全株饲用营养价值的影响[J]. 作物学报, 2004, 30 (5): 443-448
- [3] 宁堂原, 焦念元, 李增嘉, 等. 施氮水平对不同种植制度下玉米氮利用及产量和品质的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17 (12): 2332-2336
- [4] 胡昌浩, 董树亭, 岳寿松, 等. 高产夏玉米群体光合与产量关系的研究[J]. 作物学报, 1993, 19(1): 63-69
- [5] 许大全. 光合速率、光合效率与作物产量[J]. 生物学通报, 1999, 34(8): 8-10
- [6] 柴强, 黄高宝. 集雨补灌冬小麦套作玉米复合群体生理生态特性研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12 (2): 70-72
- [7] 黄高宝. 集约栽培条件下间套作的光能利用理论发展及其应用[J]. 作物学报, 1999, 25(1): 16-24
- [8] Marshall B., Willey R. W. Radiation interception and growth in an intercrop of pearl millet/groundnut [J]. Field Crops Research, 1983, 7:141-160
- [9] 刘巽浩. 中国的多熟种植[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1987
- [10] Keating B. A., Carberry P. S. Resource captures and use in intercropping: Solar radiation [J]. Field Crops Research, 1993, 34: 273-301
- [11] 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: 305-312
- [12] Hauggaard-Nielsen H., Jensen E. S. Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at levels of soil N availability [J]. Field Crops Research, 2001, 72: 185-196
- [13] Akanvou R., Kroff M. J., Bastiaans L., et al. Evaluating the use of two contrasting legume species as relay intercrop in upland rice cropping systems[J]. Field Crops Research, 2002, 74: 23-36
- [14] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [15] 刘祖贵, 陈金平, 段爱旺, 等. 不同土壤水分处理对夏玉米叶片光合等生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24 (1): 90-95
- [16] 段巍巍, 赵红梅, 郭程瑾, 等. 夏玉米光合特性对氮素用量的反应[J]. 作物学报, 2007, 33 (6): 949-954
- [17] Sivakumar M. V. K., Virmani S. M. Crop productivity in relation to interception use efficiency with increased diffuse radiation [J]. Crop Science, 1984, 31: 131-141
- [18] 董树亭. 玉米生态生理与产量品质形成[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006