

南疆灌区冬小麦/夏玉米改良模式 增产潜力与机理分析

章建新¹, 赵 明², 图尔贡¹, 卡地尔亚¹

(1. 新疆农业大学农学院, 新疆 乌鲁木齐 830052; 2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

摘 要: 田间试验系统地比较了新冬 20/沈玉 2002 不同套种模式(“522 模式”与“952 模式”)及“521 模式”下保麦 10 号/蠡玉 35、保麦 10 号/登海 3672、新冬 20/蠡玉 35 的产量、叶面积指数、光合势及干物质积累等性状的差异。结果表明,“522 模式”新冬 20/沈玉 2002 周年产量($17\,838.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)较“952 模式”($16\,550.9\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)增产 7.8%, 其中,冬小麦增产 18.4%。“521 模式”保麦 10 号/蠡玉 35、保麦 10 号/登海 3672、新冬 20/蠡玉 35 周年产量为 $19\,905.0\sim 20\,751.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 其中,冬小麦产量为 $9\,740\sim 10\,275\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、夏玉米产量为 $9\,630\sim 10\,211.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 冬小麦孕穗期和开花期叶面积指数分别为 6.0、5.0 左右,返青至成熟的总光合势 $290.2\sim 324.3\times 10^4\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{hm}^{-2}$; 夏玉米生育期 111 d,大喇叭口期至吐丝后 20 d 的叶面积指数均保持在 4 左右,生育期间总光合势 $233.1\sim 257.5\times 10^4\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{hm}^{-2}$,冬小麦和玉米总光合势为 $523.3\sim 581.8\times 10^4\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{hm}^{-2}$; 总干物质质量 $38\,569.1\sim 40\,487.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$; 冬小麦产量的边际效应为 85.7%~112.9%。“521 模式”比“952 模式”大幅度增产,是小麦行数和边行数及边际产量增大的结果,并将夏玉米播期提至麦收前 15 d 左右,延长玉米生育期(达 110 d 左右),优化株行配置使玉米增产显著,实现全年超高产。“521 模式”同时充分利用了冬小麦边际补偿效应和玉米时间补偿效应,较“952 模式”易获得周年超高产。并对超高产栽培技术进行了讨论。

关键词: 冬小麦; 夏玉米; “521 模式”; 超高产; 边际效应; 干物质积累

中图分类号: S344.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)06-0015-07

Yield potential and mechanism analysis for the improved cropping system of winter wheat and summer corn within the oasis irrigation region of South Xinjiang

ZHANG Jian-xin¹, ZHAO Ming², TU ErGong¹, KA Dierya¹

(1. College of Agronomy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, Xinjiang, China;

2. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Under field conditions, two inter-planting patterns, ‘522 pattern’ and ‘952 pattern’, of Xindong20 and Shenyu2002 were compared, and Baomai10 and Liyu35, Baomai10 and Denghai3672, Xindong20 and Liyu35, were compared with ‘521 inter-planting pattern’ mainly for the yield, leaf area, photosynthetic potential and dry matter accumulation. The results showed that the annual yield was increased for the ‘522 pattern’ ($17\,838.2\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) of Xindong20 and Shenyu2002 by 7.8%, as compared with the ‘952 pattern’ (yield $16\,550.9\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$). For winter wheat, the yield increased by 18.4%. The annual production of ‘521 pattern’ of Baomai10 and Liyu35, Baomai10 and Denghai3672, Xindong20 and Liyu35 were $19\,905.0\sim 20\,751.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, while for winter wheat yield were $9\,740\sim 10\,275\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, and corn yield were $9\,630\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\sim 10\,211.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$. Leaf area index of winter wheat were 6.0 and 5.0 at booting and flowering stage, respectively. The photosynthetic potential ranged from $290.2\times 10^4\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{hm}^{-2}$ to $324.3\times 10^4\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{hm}^{-2}$ between turning green and mature stage. The growth stage of summer corn was 111 days, the leaf area index maintained at four from large bell stage to grain filling stage, while that of photosynthetic potential was 233.1

收稿日期: 2013-06-01

基金项目: “十一五”国家科技支撑计划项目(2009BADA4B01-1)资助

作者简介: 章建新(1962—),男,博士生导师,主要从事粮食作物栽培研究。E-mail: zjxin401@126.com。

$\times 10^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{hm}^{-2} \sim 257.5 \times 10^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{hm}^{-2}$. the total photosynthetic potential of wheat and corn was $523.3 \times 10^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $581.8 \times 10^4 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot \text{hm}^{-2}$, respectively. Total dry matter was $38\ 569.1 \sim 40\ 487.0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. Marginal effect of winter-wheat yield was $85.7\% \sim 112.9\%$. 521 pattern of winter-wheat was outperform than '952 pattern' because of it increased rows and boundary rows and boundary yield which led to marginal effect. Meanwhile, summer corn was planted at fifteen days after before wheat harvest, therefore extending growth period to nearly 110 days. In conclusion, the '521 pattern' has advantages of marginal compensation and growth period extension over the '952 pattern'.

Keywords: Winter wheat; summer corn; '521 pattern'; super-high-yield; marginal effect; dry matter accumulation

增加复种指数,推广间套复种技术,是提高作物对光、温、水、土等自然资源利用效率的有效途径^[1-2]。套种是一种较复播更容易实现周年超高产的复种模式。冬小麦与夏玉米的套种可分为一年两熟(冬小麦/玉米)和三收(冬小麦-玉米/春玉米)两种模式^[3]。冬小麦和夏玉米是新疆南部最主要的粮食作物。由于受到人多地少和热量资源不足等条件的制约,当地多采用 952(每种 9 行冬小麦,预留 5 空行供第二年麦收前 10 d 左右,套种 2 行中熟玉米品种)模式,以提高周年粮食产量。针对该模式存在冬小麦产量低(因净面积大幅度压缩而减产),玉米株、行距配置不合理等也很难实现高产等问题。我们在 2011 年对“952 模式”进行优化提出了“522 模式”^[4], 2012 年进一步优化为“521 模式”。本文在田间比较了“522 模式”与“952 模式”及“521 模式”下三种冬小麦与玉米品种的组合产量、叶面积指数、干物质积累等性状差异的基础上,以探明“521 模式”的增产潜力和原理,为实现冬小麦/夏玉米周年超高产提供技术和理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

冬小麦品种:新冬 20,保麦 10 号;套种玉米品种:蠡玉 35、登海 3672、沈玉 2002。

1.2 试验地条件及栽培管理

2010—2011 年试验在新疆和田地区洛浦县洛浦镇恰帕勒村进行。2011 年 2 月至 9 月 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温为 $4\ 201.6^\circ\text{C}$, 其中, 6—9 月 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温为 $2\ 817.2^\circ\text{C}$, 9 月下旬的旬平均温度为 18°C 。试验地土壤为砂土, 20 cm 土壤有机质 $16.10 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $37 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $236 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。前茬夏玉米。9 月 30 日收获后, 施入牛粪 $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和磷酸二铵 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 后, 精细整地。10 月 4 日机械播种冬小麦。

2011—2012 年试验在新疆和田地区洛浦县多鲁

乡库肉克艾日克村进行。2012 年 2 月至 9 月 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温为 $4\ 135.7^\circ\text{C}$, 其中, 6—9 月 $\geq 0^\circ\text{C}$ 积温为 $2\ 722.0^\circ\text{C}$, 9 月下旬的旬平均温度为 15.9°C , 多浮尘天气。试验地土壤为砂土, 20 cm 土壤有机质 $25.9 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 碱解氮 $91.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效磷 $11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 速效钾 $135 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。耕翻前施入牛粪 $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和磷酸二铵 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 精细整地。10 月 4 日机械播种, 12 cm 等行距, 每播 5 行冬小麦空 2 行(52 模式)。实播种量为 $139.23 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。11 月 27 日冬灌。2012 年 2 月 18 日(返青期)灌春 1 水, 3 月 28 日除草、镇压。分别在 4 月 4 日、4 月 28 日、5 月 5 日、5 月 26 日灌水, 生育期间共灌 6 次水, 每次灌水约 $1\ 050 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。4 月 4 日追施尿素 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、硫酸钾 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$; 5 月 5 日追施尿素 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。5 月 31 日在空行处用盘式播种器人工套种 1 行玉米, 播量 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 行距 84 cm。6 月 13 日机收(先割倒、后脱粒, 收获冬小麦对夏玉米生长影响可忽略)冬麦新冬 20, 6 月 17 日收获保麦 10 号。玉米 4 叶期松土, 5 叶期定苗, 理论留苗 $6.6 \times 10^4 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$; 分别在 7 月 3 日(5 叶展)、7 月 29 日(大喇叭口期)、8 月 23 日(吐丝期)、9 月 24 日(蜡熟期)灌水, 玉米生育期共灌 4 次水, 每次灌水约 $1\ 050 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$; 在 7 月 3 日施尿素 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 硫酸钾 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 在 7 月 29 日施尿素 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。9 月 27 日收获测产。

1.3 试验设计

1.3.1 不同模式产量比较试验 2010—2011 年试验设“522 式”(5 行冬小麦空 2 行, 第 2 年 6 月 3 日在空行处套种 2 行沈玉 2002, 玉米行距为 $26\text{cm} + 48\text{cm}$, 株距为 33.3 cm, 冬小麦实占地百分率为 71.43%)和“952 式”(9 行冬小麦空 5 行, 第 2 年 6 月 3 日在空行处套种 2 行沈玉 2002, 玉米行距为 $50\text{cm} + 118\text{cm}$, 株距为 16.6 cm, 冬小麦实占地百分率 64.29%)两种处理。田间按顺序排列, 每处理占地 0.03 hm^2 。

1.3.2 在“521 模式”下不同冬小麦和玉米品种高产试验 2011—2012 年试验按“521 模式”(5 行冬小

麦空 2 行,第二年 5 月 31 日在空行处改为套种 1 行夏玉米,便于玉米播种;玉米行距为 84 cm,株距为 16.6 cm)种植。在 2010—2011 年冬小麦和玉米品种筛选试验的基础上,设保麦 10 号/蠡玉 35、保麦 10 号/登海 3672、新冬 20/蠡玉 35 等 3 种处理。每处理占地 0.03 hm²,田间接顺序排列。

1.4 测定方法

(1) 分别在冬小麦拔节期、孕穗期、开花期定点逐行测定各处理的茎数,样点行长均为 1 m,每处理测定 3 个点;分别在拔节期(4 月 3 日)、孕穗期(4 月 24 日)、开花期(5 月 7 日)和花后 20 d(5 月 27)各处理逐行取 30 茎测定叶面积(按长宽系数法,系数取 0.75)、干物质重(烘干称重法)。取样时间及行序与茎数动态测定一致;收获前各处理逐行连根取 1 m 长样,重复 3 次;风干后室内考种,逐行测定生物产量、粒重、穗粒数等;每处理分别随机取 3 个样点,每个样点取毛面积 4.2 m² 单打称重,各处理随机称取 100 g 籽粒,80℃烘至恒重后称重;计算各处理折合产量(13%含水量)。

(2) 分别在夏玉米 5 叶展期(7 月 1 日)、拔节期(7 月 19 日)、大喇叭口期(8 月 5 日)、吐丝期(8 月 25 日)、吐丝后 20 d(9 月 14 日),各处理分别取代表样 3 株,用长宽系数法测定叶面积、烘干称重法测定干物质重。收获前每处理自茎基部分别连续取具代

表性的 5 株样,风干后室内考种,逐株测定生物产量、粒重、穗粒数等。成熟期每处理随机选取 3 个样点测定鲜棒产量,每样点面积为 16.8 m²,随即从每处理测产样中选取具代表性的 10 个鲜棒称重,脱粒后,即刻称粒鲜重,从鲜粒中随机取 100 g,80℃烘至恒重后称重。计算各处理折合籽粒产量(14%含水量)。试验数据均采用 3 个重复的平均值标准差,用 EXCEL2007 进行数据处理绘制图表,用 SAS 8.0 统计分析系统软件进行数据分析。

2 结果分析

2.1 不同套种模式下冬小麦及夏玉米产量

由表 1 可见,2011 年试验“522 模式”的冬小麦比“952 模式”增产显著,达 18.4%,夏玉米却略减产(为 5.4%),周年总产量增加 7.8%。“522 模式”利于冬小麦获得高产。为便于玉米播种和优化玉米株、行距配置,2012 年采用空行处套种 1 行夏玉米(“521 模式”)。三种品种组合中,保麦 10 号(10 275 kg·hm⁻²)比新冬 20(9 740 kg·hm⁻²)略增产(5.5%),夏玉米产量为 9 630.0~11 011.0 kg·hm⁻²,周年粮食总产量 19 905.0~20 751.0 kg·hm⁻²。采用“521 模式”三种冬小麦与夏玉米的品种组合方式均实现了周年超高产。

表 1 不同套种模式冬小麦、玉米产量及总光合势

处理 Treatments	冬小麦 Winter-wheat /(kg·hm ⁻²)	玉米 Corn /(kg·hm ⁻²)	总产量 Total yield /(kg·hm ⁻²)	总干物质 Total dry matter /(kg·hm ⁻²)	总光合势 Total photosynthetic potential /(m ² ·d ⁻¹ ·m ⁻²)	年份 Years
522 模式,新冬 20/沈玉 2002 522 pattern,Xindong20 and Shenyu2002	10836.0aA	7002.2aA	17838.2aA	30522.6aA	—	2011
952 模式,新冬 20/沈玉 2002 952 pattern,Xindong20 and Shenyu2002	9150.0bB	7400.9aA	16550.9bB	29145.2bB	—	2011
521 模式,保麦 10 号/蠡玉 35 521 pattern,Baomai10 and Liyu35	10275.0aA	9630.0aA	19905.0aA	39806.9abAB	557.4aA	2012
521 模式,保麦 10 号/登海 3672 521 pattern,Baomai10 and Denghai3672	10275.0aA	10211.0aA	20486.0aA	40487.0aA	554.6aA	2012
521 模式,新冬 20/蠡玉 35 521 pattern,Xindong20 and Liyu35	9740.0aA	11011.0aA	20751.0aA	38569.1bB	547.7aA	2012

注:冬小麦、玉米产量分别按 13%、14% 含水计算。
Node: Water content of grains of wheat and corn was assumed as 13% and 14%, respectively.

2.2 不同模式冬小麦产量形成特点

2.2.1 不同模式冬小麦产量及其构成 由表 2 可见,2011 年试验“521 模式”产量最高为 10 836.0 kg·hm⁻²,比“952 模式(9 150.0 kg·hm⁻²)”增产 18.4%,是由于“521 模式”生物产量和经济系数同时较“952

模式”增加,穗数、穗粒数、千粒重分别增加 7.2%、14.2%、2.3%的结果。2012 年试验采用“521 模式”种植保麦 10 号的穗数比新冬 20 减少 18.6%,穗粒数和千粒重分别比新冬 20 增加 10.4%、16.6%,产量比新冬 20 增产 5.5%,分别为 10 275.0、9 740.0

kg·hm⁻²的超高产。“521 模式”较“952 模式”的冬小麦易获得超高产。

表 2 不同处理冬小麦产量及其构成

Table 2 Yield and yield components of winter wheat for different inter-planting patterns								
处理 Treatments	品种 Varieties	穗数 Spike numbers (× 10 ⁴ hm ²)	穗粒数 Grain number per spike	千粒重 1000-seeds weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	干物重 Dry matter weight /(kg·hm ⁻²)	经济系数 Economic coefficient	年份 Years
522 模式 522 pattern	新冬 20 Xindong20	697.6aA	36.79aA	44.29aA	10836.0aA	17140.6aA	0.55aA	2011
952 模式 952 pattern	新冬 20 Xindong20	651.0aA	32.22bB	43.30aA	9150.0bB	15308.7bB	0.52bB	2011
521 模式 521 pattern	保麦 10 号 Baomai10	621.8aA	37.67aA	42.9aA	10275.0Aa	21803.0aA	0.41bB	2012
521 模式 521 pattern	新冬 20 Xindong20	763.5bB	34.13bB	36.8bB	9740.0Aa	18421.3bB	0.46aA	2012

2.2.2 “521 模式”不同冬小麦品种产量性状的边际效应 边际效应(%)=(两边行平均值/内三行平均值-1)×100%。由表 3 可见,保麦 10 号、新冬 20 产量性状除千粒重外均表现出十分明显的边际效应。生物产量边际效应分别为 103.8%、100%;穗数、穗粒数、每米粒数和粒重的边际效应分别为 59.5%、92.4%、20.3%、10.7%和 90.0%、112.5%、85.7%、112.9%。穗数边际效应最大,其次是穗粒数,千粒重无边际效应。保麦 10 号穗数边际效应低是其产量边际效应低于新冬 20 的主要原因。

表 3 “521 模式”冬小麦不同品种产量性状的行间差异

Table 3 The different of plant inter-row of yield components for winter-wheat varieties under 521 patternpattern								
品种 Varieties	行序 Line sequence	总干重 Dry matter weight /(g·m ⁻¹)	穗数 Spike number /(个·m ⁻¹)	粒重 Seeds weight /(g·m ⁻¹)	粒数 Grains number /(个·m ⁻¹)	穗粒数 Grains per spike (个·穗 ⁻¹)	千粒重 1000-seeds -weight/g	株高 Plant height /cm
保麦 10 号 Baomai10	1	580aA	141aA	243.0aA	5843aA	41.4aA	41.6aA	72.1bB
	2	190dD	63bB	84.3cC	1939cC	30.8bB	43.5aA	72.0bB
	3	330cC	95bB	139.2bB	3204bB	33.7bB	43.5aA	74.8aA
	4	260dcC	95bB	153.5bB	3533bB	37.2abB	43.4aA	73.7abAB
	5	480bB	128aA	223.7aA	5146aA	40.2aA	43.5aA	72.5bB
新冬 20 Xindong20	1	540aA	200aA	259.9aA	7037aA	35.2aA	36.9aA	66.0cC
	2	340bB	65cC	78.8c	2135dD	32.8bB	36.9aA	71.7abAB
	3	250bcBC	103bcBC	124.2bcBC	3370cC	32.7bB	36.9aA	72.6aA
	4	160cC	133bB	160.0bB	4341bB	32.6bB	36.9aA	69.9bB
	5	460aA	186aA	255.3aA	6918aA	37.2aA	36.9aA	65.3cC

2.2.3 “521 模式”种植的冬小麦不同品种叶面积指数、光合势及干物质动态 由图 1a 可见,自拔节期到花后 20d,保麦 10 号叶面积指数均略高于新冬 20,拔节期、孕穗期、开花期和花后 20 d,依次为 2.46、1.68、6.0、5.8 和 5.4、5.2、4.1、3.9;两品种粒叶比依次为 17.13、16.79 mg·cm⁻²;光合势(叶面积指数与持续时间的乘积)与叶面积指数的变化相似,拔节期至孕穗期的光合势迅速增加。以开花期至花后 20d 的光合势(单位为 10⁴·m²·d·hm⁻²)最高,分别为 95、91,其次是拔节至孕穗期的光合势,分别为 88.83、78.54,再次是孕穗至开花期的光合势,分别为 74.1、74.5,花后 20 d 至成熟期的光合势分别为 43.05、33.15。返青后总光合势保麦 10 号(324.3)明显大于新冬 20(290.2),主要是由于保麦 10 号拔节至孕穗期、花后 20 d 至成熟期的光合势明显增加的缘故(图 1b);干物质积累量自拔节期至成熟期保麦 10 号积累量均略高于新冬 20,尤其是花后 20 d 至成熟期的干物质增加量明显多于新冬 20,成熟期的积累量分别为 21 904.76、20 833.33 kg·hm⁻²(图 1c),开花期积累的干物质量分别占总干物质积累量的 52.1%、52.7%。按“521 模式”种植的保麦 10 号、新冬 20 在孕穗期至花后 20 d,群体均维持了较高的叶面积指数、总光合势,干物质积累量大,为小麦超高产奠定了基础。

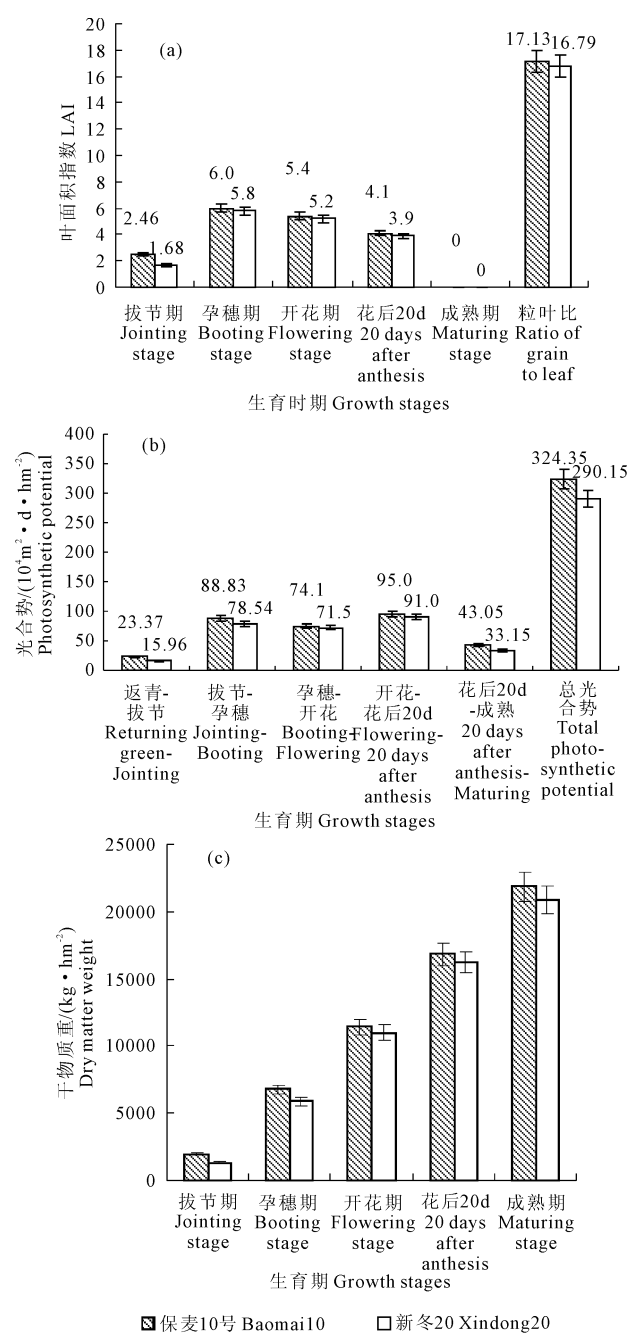


图 1 不同冬小麦品种的叶面积指数(a)、光合势(b)和干物质积累动态(c)

Fig.1 Changes in leaf area index (a), photosynthetic potential (b), and dry matter accumulation (c) for different wheat varieties

2.3 “521 模式”套种夏玉米产量形成特点

2.3.1 不同处理玉米产量及其构成 由表 4 可见, 蠡玉 35 和登海 3672 均获得了 9 630 ~ 11 011.0 kg·hm⁻²的产量,处理蠡玉 35 a(前作新冬 20)较处理蠡玉 35(前作保麦 10 号)早收 4 d,玉米产量较处理蠡玉 35 增产 14.3%。这可能是由于玉米与冬小麦共生期延长,玉米幼苗受弱光照等胁迫加重,显著减少单位面积穗数、每穗粒数的结果。按“521 模式”种植,新冬 20/蠡玉 35 组合玉米产量显著高于保麦 10 号/蠡玉 35 的组合。

2.3.2 不同处理夏玉米的叶面积指数、光合势和干物质积累动态 由图 2a 可见,蠡玉 35、登海 3672 和蠡玉 35 a 处理的叶面积指数自拔节期至大喇叭口期迅速增加。并且,在大喇叭口期至吐丝后 20 d,各处理的叶面积指数均保持在 4 左右。大喇叭口期、吐丝期、吐丝后 20 d 叶面积指数为 3.71 ~ 4.56、4.22 ~ 4.47、3.55 ~ 4.02。蠡玉 35 a 各生育时期叶面积指数明显高于登海 3672 和蠡玉 35 处理。光合势与叶面积指数的变化趋势相似。自拔节期至大喇叭口期的光合势(单位为 10⁴·m²·d·hm⁻²)迅速增加为 37.74 ~ 46.24,以大喇叭口期至吐丝期光合势最高为 79.3 ~ 90.3,其次是吐丝期至吐丝后 20 d,为 62.24 ~ 67.92,吐丝后 20 d 至成熟仍保持 35.96 ~ 40.8 的光合势,总光合势为 233.09 ~ 257.49(图 2b)。各处理在单位面积上的干物质积累量自拔节期开始迅速增加。干物质质量(单位为 kg·hm⁻²),拔节期为 447.7 ~ 600.32、大喇叭口期为 3 693.9 ~ 5 871.2、吐丝期为 10 914.1 ~ 11 925.1、吐丝后 20 d 为 16 233.1 ~ 18 005.3,成熟期为 18 003.9 ~ 20 147.8,成熟期积累量以蠡玉 35 a 处理显著高于登海 3672 和蠡玉 35 处理,吐丝期干物质质量分别占相应处理总干物质质量的 60.62%、59.9%、59.19%(图 2c)。自大喇叭口至吐丝后 20 d,蠡玉 35a 处理的叶面积指数大、光合势及总光合势大是其最终积累的干物质明显多于其它处理的原因。

表 4 不同处理夏玉米的产量及其构成

Table 4 Yield and yield components of summer corn for different inter-planting patterns

处理 Treatments	穗数 Spike number (× 10 ⁴ hm ²)	穗粒数 Grains per spike	百粒重 100-seeds -weight/g	产量 Yield /(kg·hm ⁻²)	生物产量 Biomass /(kg·hm ⁻²)	经济系数 Economic coefficient
蠡玉 35(前作保麦 10 号) Liyu35(previous crop Baomai10)	6.4bB	585.2bB	25.8bB	9630bB	18003.9bB	0.46aA
登海 3672(前作保麦 10 号) Denghai3672(previous crop Baomai10)	6.6abAB	505. cC	30.5aA	10211.0abAB	18684.0abAB	0.47aA
蠡玉 35a(前作新冬 20) Liyu35a(previous crop Xindong20)	6.9aA	626.5aA	26.5bB	11011.0aA	20147.8aA	0.47aA

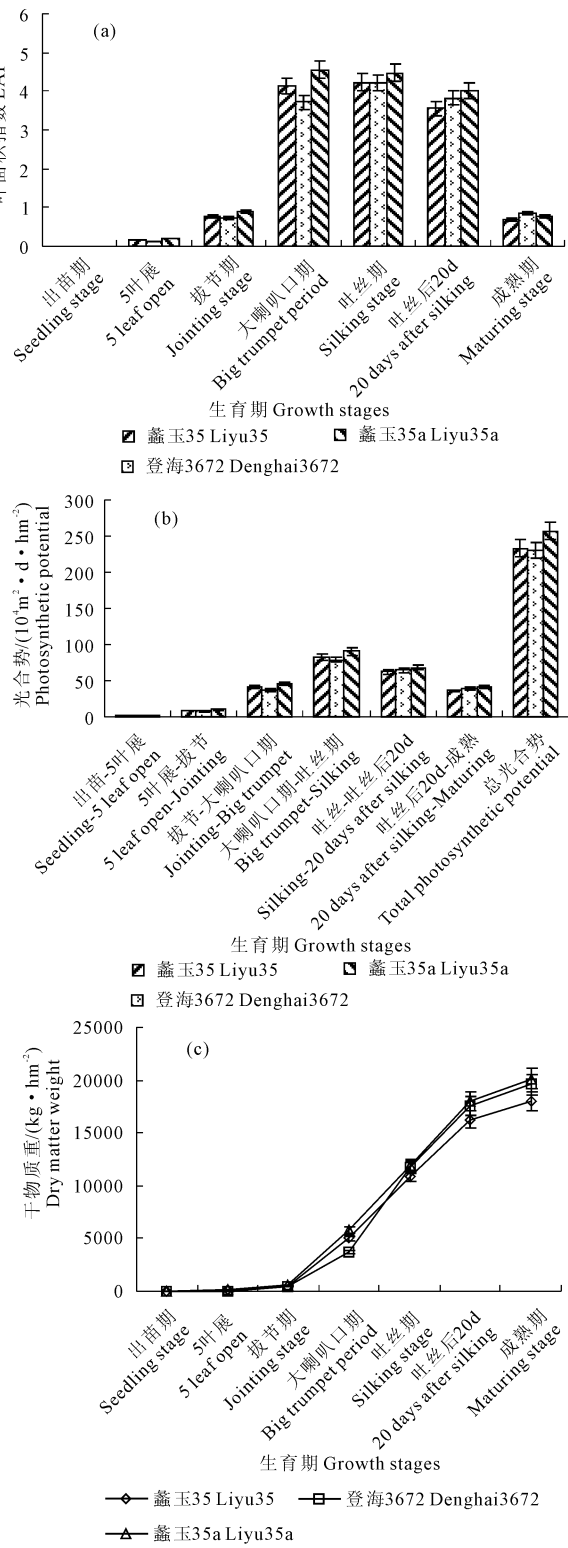


图 2 不同处理夏玉米叶面积指数(a)、光合势(b)和干物质积累动态(c)

Fig.2 Changes in leaf area index(a), photosynthetic potential(b), and dry matter accumulation(c) for summer corn

3 讨 论

3.1 冬小麦与夏玉米复种的三种方式

冬小麦与夏玉米套种有冬小麦/夏玉米、三收

(冬小麦-夏玉米/春玉米)两种模式。三收模式较套种模式多了春玉米播种和收获工序,田间管理的操作复杂化,且不利于机械操作,在上世纪末曾经推广^[5],现已少用。套种模式是以压缩冬小麦面积换取延长夏玉米的生长期。预留套种带大小和空间分布的合理与否,不但决定着冬小麦的产量高低,也严重影响玉米播种和行、株距配置等。因此,采用套种模式全年产量的增幅取决于夏玉米增产(因生育期延长)量与冬小麦减产(因净占地面积的压缩)量的差值。采用冬小麦-夏玉米/春玉米模式分别在热量资源丰富($\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 $4\ 700^{\circ}\text{C}$ 左右)的河南扶沟^[5]和温县^[6]周年分别实现 $18\ 390 \sim 18\ 870$ 、 $16\ 503 \sim 19\ 751\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的产量,所以认为冬小麦-夏玉米/春玉米在黄淮海地区是一种高产模式^[7-9]。研究表明,“521 模式”周年粮食总产量为 $19\ 905.0 \sim 20\ 751.0\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,明显高于扶沟和温县的冬小麦-夏玉米/春玉米模式。该模式在于充分地利用边际效应补偿了因压缩占地面积所导致的冬小麦产量损失,较传统的套种模式增产显著,而“952 模式”的边际效应补偿能力差,产量降幅大^[4];夏玉米提早至麦收前 15 d 左右播种,两者的共生期仅 5 ~ 9 d 左右,生育期长至 110 d 左右,行距配置由“952 模式”的宽窄行($50\text{cm} + 118\text{cm}$)变为“521 模式”等行距(84cm)等变化,十分有利于实现高产。可见,“521 模式”是易获得周年超高产的冬小麦套种夏玉米的模式,适合于人多地少且粮食生产压力大的地区采用,在试验区深受农民欢迎,2012 年已在试验区大面积试用,其增产机理有待于更深入系统的研究。

3.2 关于冬小麦的边际效应与超高产

关于冬小麦的超高产已有系统的研究工作^[10-12]。这些超高产都是在非预留空行的条件下获得的。高肥力条件下小麦的边行优势仅限于边 1 行,边行的穗数、穗粒数和千粒重分别比内行增加 16%、14.3%、11.8%^[13]。研究认为“20 cm + 40 cm”(畦麦行距 25 cm,小麦小行距即沟宽 20 cm,大行距即垄宽 50 cm)小麦种植模式具有间套通用性强、适应性广、夏秋双高产的特点^[14]。边 1 行增产幅度随预留行宽度增加而提高,但超过一定宽度后,增产幅度减小边行增产原因是穗数、穗粒数显著提高,同时千粒重明显提高,百农 64 适宜间套作预留行宽度不低于 80 cm^[15]。本试验结果表明,按“521 模式”种植的保麦 10 号和新冬 20 分别获得 $10\ 275.0$ 、 $9\ 740.0\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的超高产,其小行距为 12 cm,空行宽 36 cm,两品种穗数、穗粒数和产量的边际效应分别为 59.5%、92.4%、20.3%、10.7%、85.7%、112.9%。

穗数边际效应最大,其次是穗粒数,千粒重无边际效应。与前人^[13]研究结果不同,可能是由于品种不同所导致的。在本研究中,“952 模式”每单元共 14 行,与“521 模式”的 2 个单元行数相同,在每 14 行中,“521 模式”10 行小麦较“952 模式”(9 行)增加 1 行,边行数 4 行,较“952 模式”(2 行)增加 2 行,总边际效应的大小主要决定于边行数和单行边际效应。因此,“521 模式”总边际效应比“952 模式”增大。可见,“521 模式”获得冬小麦超高产,是由于充分利用了边际补偿效应的缘故。

3.3 关于夏玉米高产栽培技术及生理参数

增加种植密度,扩库强源是河北省玉米获得高产的重要措施^[16]。夏玉米适宜收获期在吐丝后 55 d 左右^[17]。分期追肥可使夏玉米高产高效^[18],在基肥和拔节期施肥的基础上增施吐丝肥增产^[19]。黄淮海北部平原区产量突破 $11\ 250\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的夏玉米的叶面积指数在吐丝期达到 5.8 以上,到收获时仍维持在 3 以上。总光合势达到 $370\times 10^4\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上,群体的干物质积累总量为 $20\ 562\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 以上,经济系数 0.53 以上^[20]。本试验结果表明,按“521 模式”种植的蠡玉 35 和登海 3672 均获得了 $9\ 630\sim 11\ 011.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 的产量,其大喇叭口期、吐丝期、吐丝后 20 d 叶面积指数为 3.71~4.56、4.22~4.47、3.55~4.02,总光合势为 $233.1\sim 257.5\times 10^4\cdot\text{m}^2\cdot\text{d}\cdot\text{hm}^{-2}$,总干物质积累量为 $18\ 003.9\sim 20\ 147.8\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,经济系数 0.47;产量构成为,穗数 $6.2\sim 6.6\times 10^4\cdot\text{hm}^{-2}$,穗粒数 505~626.5 粒·穗⁻¹,百粒重 25~30 g。可见,获得相近的产量下,和田地区夏玉米的最高叶面积指数和总光合势明显低于黄淮海北部平原区,可能是由于光照条件好、光合速率高的缘故。

3.4 关于“521 模式”品种搭配

冬小麦与夏玉米两类超高品种的组合作是“521 模式”获得周年超高产的关键。选具有抗倒伏性强,边际补偿效应强,早熟(6 月 15 日左右成熟)和超高产的冬小麦品种;玉米品种具有高产潜力,生育期适宜(9 月底前成熟),在与冬麦共生期间耐阴性较强。试验结果表明,保麦 10 号/登海 3672、新冬 20/蠡玉 35 是“521 模式”较优的品种搭配。

3.5 关于“521 模式”的栽培技术要点

选土壤肥力中等的田块;适当增加肥料投入,磷肥作为基肥在翻地前一次施入;冬小麦 10 月 1~5 日播种,实播量控制在 $135\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右;冬小麦起身前镇压,拔节期施氮肥和钾肥,防止冬小麦倒伏;孕穗期重施氮肥,全生育期灌水 5~6 次;于麦收前

15 d 左右用播种器在空行处套种 1 行玉米,播量 $22.5\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右;抢收冬麦(先用机器割倒后脱粒),以免玉米幼苗在弱光下徒长;麦收后除草、松土,5 叶期定苗,保苗 $60\ 000\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 左右;5 叶期施氮肥和钾肥,大喇叭口期施氮肥;分别在 5 叶期、大喇叭口期、吐丝期和成熟期灌水 1 次。

3.6 关于“521 模式”的经济效益

“521 模式”与当地大田生产的“952 模式”相比,除适当增加的肥料投入外,不增加额外农事操作和其它投入。与当地高产田周年产量(约 $15\ 000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)相比,该模式产量(为 $19\ 905.0\sim 20\ 751.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)增产 32.7%~38.3%。因此,在扣除肥料的投入后仍是高效的。

4 结 论

“521 模式”较“952 模式”大幅度增产的原因是增加小麦行数和边行数,边际产量增大的结果;在冬小麦获高产同时,并将夏玉米播期提至麦收前 15 d 左右,生育期延长至 110 d 左右,优化株行配置提高玉米产量,最终全年获超高产。“521 模式”同时充分利用了冬小麦的边际补偿效应和玉米时间补偿效应。保麦 10 号/登海 3672、新冬 20/蠡玉 35 是“521 模式”的超高产品种组合。栽培上适当增加肥水投入,以满足周年超高产和高效的需求。

参 考 文 献:

- [1] 史俊通,刘孟君,李 军.论复种与我国粮食生产的可持续发展[J].干旱地区农业研究,1998,16(1):51-57.
- [2] 信迺途,佟屏亚.我国的多熟制及其发展方向[J].中国农业科学,1986,28(4):88-92.
- [3] 王中孝.山东玉米[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [4] 章建新,王中奇,再尼拉·艾则孜,等.冬小麦预留套行种植模式的超高产生育规律研究[J].麦类作物学报,2012,32(2):309-314.
- [5] 陈 阜,逢焕成.冬小麦/春玉米/夏玉米间套作复合群体的高产机理探讨[J].中国农业大学学报,2000,5(5):12-16.
- [6] 黄进勇,李新平,孙敦立.黄淮海平原冬小麦-春玉米-夏玉米复合种植模式生理生态效益研究[J].应用生态学报,2003,14(1):51-56.
- [7] 李增嘉,李凤超,赵秉强.小麦玉米间套作种植模式经济效益的分析[J].山东农业大学学报,1997,28(4):383-391.
- [8] 逢焕成,陈 阜.黄淮平原不同多熟模式生产力特征与资源利用效率研究[J].自然资源学报,1998,13(3):198-205.
- [9] 李增嘉,李凤超,赵秉强.小麦玉米间套作的产量效应与光热资源利用率的研究[J].山东农业大学学报,1998,29(4):419-426.
- [10] 田奇卓,于振文,潘庆民,等.冬小麦超高产栽培群、个体发展动态指标的研究[J].作物学报,1998,24(6):859-864.

可能出现灾害性天气,实行复播有很大困难。本研究发现复播青贮玉米对本地区秋季气温有很好的适应性,抗风险能力强。复播青贮品种要求全生育期 90 d 左右,一般复播青贮播种期在 6 月底到 7 月 10 号之前,10 月上旬可在乳熟期收获,单位面积生物产量 $\geq 4\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,干物质含量 $\geq 30\%$,可满足青贮玉米作为饲料用的市场需求。本研究选用的复播青贮玉米新玉 15 号复播在 6 月 28 日播种,在 9 月 20 日收获时果穗达到了乳熟中期,干物质产量达到 $16\,315\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,品质达到了青贮玉米的要求,可在生产中大面积推广。

4 结 论

本研究建立的冬小麦-复播青贮玉米模式,比传统冬小麦单季延长了 84 d 的生长时间,周年总干物质生产效率分别比单季种植冬小麦、春播新玉 15 号、春播新饲玉 10 号提高 84.8%、102% 和 25.4%,周年物质生产能量比单季种植冬小麦、春播新玉 15 号和春播新玉 10 号模式高 29.5、31.3、11.9 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$,延长了作物品种与光热资源最佳光温耦合快速生长期,充分利用了北疆麦后的热量。

一年两作冬麦-复播青贮玉米种植模式生育期(356 d 左右)年总辐射的分配量最大,年总辐射利用效率高。复播青贮玉米的总辐射生产效率高,因其生育期主要跨越了一年中光热资源最丰富的 5 月—8 月,有效地利用生育期内的光热资源。

冬小麦-复播青贮玉米模式年总有效积温利用率显著高于单季种植作物,其第二季青贮玉米由于充分利用全年有效生长季节和自身旺盛生长时期,不存在籽粒成熟后期光合机能显著下降过程,从而

保障其较充分利用有限的有效积温条件,表现出在热量限制两熟区有较高的生产效率。

冬小麦-复播青贮玉米种植模式增加了一熟区种植模式多元化,是单季冬小麦、单季春播玉米主模式的补充,其应用与推广主要与畜牧业发展密切相关,如何根据农业发展需求有效地规划北疆地区的种植模式,增加种植模式的多样化成为今后作物生产调节的重要任务之一。

参 考 文 献:

[1] 王美云,任天志,赵 明,等.双季青贮玉米模式物质生产及资源利用效率研究[J].作物学报,2007,33(8):1316-1323.

[2] 郑玉彬,黄红梅.大力发展青贮玉米生产[J].农业科技通讯,2007,(2):11-12.

[3] 程延年.气候变化对北京地区小麦玉米两熟种植制度的影响[J].华北农学报,1994,9(1):18-24.

[4] 杨晓光,刘志娟,陈 阜,等.全球气候变暖对中国种植制度可能影响[J].中国农业科学,2011,44(8):1562-1570.

[5] 林益明,郑茂钟,林 鹏,等.园林竹类植物叶的热值和灰分含量研究[J].厦门大学学报,2000,39(1):136-140.

[6] 徐 勇,齐文虎,谢高地,等.农业自然资源利用效率的因子-能量评价模型及其应用[J].资源科学,2002,24(5):86-91.

[7] 杜 红,路锦燕,石河子垦区太阳辐射特征分析[J].现代农业科技,2009,(16):238-239.

[8] 徐文修.新疆绿洲农业耕作制度演变驱动因子分析[J].新疆农业科学,2010,47(9):1837-1841.

[9] 管建生.新疆多熟种植的发展模式及技术措施[J].新疆农垦科技,2008,(3):10-11.

[10] 王文静.非传统小麦套种玉米耕作技术造福新疆[J].中国农业信息快讯,2001,(7):22.

[11] 周春江,申 琳,恽友兰,等.新疆引进非传统小麦套种玉米耕作技术试验示范初报[J].作物杂志,2001,(4):1-4.

[12] 钱有山,文 化.北京郊区气候资源和农业系统[J].北京农业科学,1994,12(4):33-37.

(上接第 21 页)

[11] 于振文,田奇卓,潘庆民,等.黄淮麦区冬小麦超高产的栽培理论与实践[J].作物学报,2002,28(5):577-585.

[12] 韩守良,单玉珊,慕美财,等.小麦超高产栽培理论探讨[J].沈阳农业大学学报,1999,30(6):576-580.

[13] 陈雨海,余松烈,于振文.小麦边际效应的研究[J].山东农业大学学报,1999,30(4):431-435.

[14] 陈雨海,李永庚,余松烈,等.小麦边际效应与种植方式规范化的研究[J].麦类作物学报,2003,23(2):68-71.

[15] 李孟良,丁为群,宋结华.不同预留行宽度对冬小麦边际效应的影响[J].安徽农业技术师范学院学报,1999,13(1):16-20.

[16] 江东岭,杜 雄,张 宁,等.种植密度对夏玉米群体库源关系的影响[J].华北农学报,2009,24(3):201-207.

[17] 吴兰云,徐茂林,周得宝,等.淮北地区夏玉米高产的适宜收获期研究[J].中国农学通报,2010,26(7):103-107.

[18] 王春虎,杨文平.不同施肥方式对夏玉米植株及产量性状的影响[J].中国农学通报,2011,27(9):305-308.

[19] 王云奇,陶洪斌,王 璞,等.施氮模式对夏玉米产量和籽粒灌浆的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(12):1594-1598.

[20] 靳小利,杜 雄,刘佳丽,等.黄淮平原北部高产夏玉米群体生理指标研究[J].玉米科学,2012,20(1):79-83.