

文章编号: 1005-0906(2014)03-0115-06

种植模式对不同株型夏玉米品种 生理生态效应比较

栾建峰¹, 张海红¹, 董鹏飞¹, 李潮海¹, 张学舜², 马俊峰²

(1. 河南农业大学农学院, 郑州 450002; 2. 新乡市农业科学院, 河南 新乡 453000)

摘要: 选用先玉 335、郑单 958 和 512-4 不同株型的夏玉米品种, 设置 60 000 株/hm² 和 75 000 株/hm² 两个种植密度和 50、60、70、80 cm 等行距以及 80+40 cm 宽窄行 5 个行距处理, 研究不同种植模式对夏玉米的生理生态效应和产量影响。结果表明, 60 cm 等行距处理下, 群体光辐射分布较为合理, 田间小气候的控制较为安全, 有利于提高抗逆性, 能够在不同的品种和密度条件下获得较高产量, 是目前黄淮海地区夏玉米机械化生产较为适宜的播种行距。

关键词: 玉米; 行距; 密度; 光辐射

中图分类号: S513.047

文献标识码: A

Comparison on Physiological and Ecological Effects of Planting Patterns in Summer Maize with Different Morphological Types

CHANG Jian-feng¹, ZHANG Hai-hong¹, DONG Peng-fei¹, LI Chao-hai¹, ZHANG Xue-shun², MA Jun-feng²

(1. College of Agronomy, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002;

2. Xinxiang Institute of Agricultural Sciences, Xinxiang 453000, China)

Abstract: Three different summer maize cultivars with different morphological types (Xianyu335, Zhengdan958 and 512-4), two plant population densities (60 000 plants/ha and 75 000 plants/ha) and five row spacing treatments (50, 60, 70, 80 cm and 80+40 cm) were used to research the effect of maize planting patterns on the physiological and ecological effects and yield. The results showed that, the row spacing of 60 cm not only had suitable canopy light radiation, but also presented safety field microclimate more safety, the quality of resistance could be enhanced. In the five row spacing treatments, the yield of 60 cm row spacing was highest at different varieties and densities. Therefore, 60 cm is the suitable row spacing for mechanized seeding of summer maize in Huanghuaihai region.

Key words: Maize; Row spacing; Density; Light radiation

统一播种行距是玉米机械化生产的必然趋势。在黄淮海地区, 玉米生长条件复杂, 种植模式多样, 要统一行距就需要在不同类型品种和不同种植密度之间寻求一种平衡, 找出适应性最佳的播种行距。国内

外对于玉米最佳行距配置进行了较多的研究, 得出的结论差异较大^[1~5]。结论不同的原因除了受生态条件、土壤肥力等影响之外, 大多数都是在同类型的品种之间进行比较, 没有充分考虑不同的株型对密度和行距的要求。本研究选取不同株型的玉米品种, 设置不同的种植密度和行距, 研究不同品种在不同种植模式下的生理生态效应, 为黄淮海地区机械化作业统一行距提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2012 年、2013 年在河南方城县和河南

收稿日期: 2014-01-10

基金项目: 国家玉米产业技术体系岗位专家专项(CARS-2-19)、农业部公益性行业科研专项(HY201203100)

作者简介: 栾建峰(1978-), 男, 河南巩义人, 博士, 主要从事玉米栽培生理研究。Tel: 13703866330

E-mail: chjfcchina@163.com

李潮海为本文通讯作者。E-mail: lichaochai2005@163.com

辉县进行。方城县为砂姜黑土,质地偏粘,0~20 cm 土壤有机质含量为 12.8 g/kg,全氮含量氮为 0.97 g/kg,速效磷含量为 10.2 mg/kg,速效钾含量为 186.3 mg/kg;辉县为潮土,质地中壤,0~20 cm 土壤有机质含量为 10.5 g/kg,全氮含量氮为 0.83 g/kg,速效磷含量为 13.3 mg/kg,速效钾含量为 177.4 mg/kg。试验地前茬均为小麦,采用麦后免耕直播。

试验选取 3 个夏玉米品种,分别为高秆品种先玉 335(XY335)、中秆品种郑单 958(ZD958)和矮秆品种 512-4。其中,XY335 和 ZD958 种子从市场购买,512-4 由育种人提供。试验设置 2 个种植密度,分别为 60 000 株/hm²(D1)和 75 000 株/hm²(D2);5 个行距,分别为 50、60、70、80 cm 等行距和 80+40 cm 宽窄行。试验按照随机区组排列,3 次重复,每个小区种植 6 行,行长 8 m。2012 年 6 月 10 日播种,2013 年 6 月 15 日播种。田间栽培管理措施同一般高产田。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 干物质积累量的测定

不同时期在每个小区内取有代表性的植株 3 株,取 3 个重复,分为叶片、茎(含茎鞘)和子粒,烘干至恒重后称重。

1.2.2 叶片 SPAD 值测定

采用日产 SPAD-502 叶绿素计测定,6 叶期测定上部展开叶,吐丝以后测定穗位叶,测 3 个重复。

1.2.3 光辐射量测定

采用 AGPOGEE 公司 MQ-303 线性光量子计在晴天的上午 10 时测定冠层顶部、穗位叶和底部叶片以下 3 个部位行间的光辐射量,3 次重复。

1.2.4 田间小气候测定

采用美国 TEL 公司 Telaire-7001 红外二氧化碳,在晴天的上午 10 时测定田间 CO₂ 浓度、温度和田间相对湿度。

1.2.5 产量测定

每个小区收获中间 2 行进行产量测定。

1.3 数据分析

采用 SPSS 15.0 和 Excel 软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同夏玉米品种的植株形态比较

由表 1 看出,3 个夏玉米品种的株高、穗位高和茎粗均存在差异。株高和穗位高依次表现为 XY335>ZD958>512-4,茎粗依次表现为 512-4>ZD958>XY335。

表 1 不同夏玉米品种的株高、穗位高、茎粗比较

Table 1 Plant height, ear height and stem diameter of different summer maize varieties

品 种 Cultivar	2012 年			2013 年		
	株高(cm)	穗位高(cm)	茎粗(cm)	株高(cm)	穗位高(cm)	茎粗(cm)
	Plant height	Ear height	Stem diameter	Plant height	Ear height	Stem diameter
XY335	282.68 a	129.68 a	2.28 c	288.00 a	107.78 a	2.26 c
ZD958	247.39 b	126.83 b	2.41 b	244.96 b	103.80 b	2.57 b
512-4	221.45 c	111.12 c	2.50 a	216.98 c	96.58 c	2.61 a

注:不同字母表示同栏同年内比较在 $P \leq 0.05$ 水平上差异显著。下表同。

Note: Different letters within the same column and same year mean significant difference at the 0.05 level. The same blow.

2.2 不同种植模式下不同品种产量比较

由表 2 看出,高秆品种 XY335,在低密度下,两年产量均以 60 cm 行距种植产量最高,分别比 80 cm 行距和宽窄行种植高出 4.1%和 3.5%;在高密度下,两年仍均以 60 cm 行距种植产量最高,分别比最低的 80 cm 行距种植高出 4.8%和 5.8%。

中秆品种 ZD958,在低密度下,两年均以 70 cm 行距种植产量最高,分别比 80 cm 行距种植高出 4.6%和 7.4%;在高密度下,2012 年和 2013 年分别以 60 cm 和 50 cm 行距种植产量最高,比 80 cm 行距种植高出 5.4%和 7.9%。

矮秆品种 512-4,在低密度下,两年均以 60 cm 行距处理产量最高,分别比 80 cm 行距处理高出 4.2%和 4.0%;在高密度下,两年均以 50 cm 行距处理产量最高,和 60 cm 行距处理差异均不显著,分别比 80 cm 行距处理高出 6.2%和 6.5%。

综合比较来看,不同株高的品种采用 60 cm 等行距种植在不同密度条件下均能获得较高产量。

2.3 不同种植模式下不同品种单株生物量比较

由表 3 看出,XY335 成熟期的单株生物量在低密度下两年均以 60 cm 行距种植最高,分别比宽窄行和 80 cm 行距种植高出 14.4%和 10.9%;在高密度

下,两年均以 60 cm 行距种植最高,分别比 50 cm 和 80 cm 行距种植高出 7.4%和 8.2%。

ZD958 单株生物量在低密度下两年均以 70 cm 行距种植最高,分别比 80+40 cm 宽窄行和 80 cm 行距种植高出 14.9%和 6.5%; 在高密度下均以 60 cm 行距种植最高, 分别比 80 cm 行距种植高出 10.6%

和 18.1%。

512-4 单株生物量在低密度下两年分别以 70 cm 和 60 cm 行距种植最高, 分别比 80 cm 行距种植高出 13.0%和 12.0%; 在高密度下两年分别以 50 cm 和 60 cm 行距种植最高,分别比 80 cm 行距和 80+40 cm 宽窄行种植高出 15.4%和 12.0%。

表 2 不同玉米品种在不同种植模式下产量
Table 2 Yield of maize in different varieties and cultivation patterns kg/hm²

年 份 Year	行距(cm) Rowspacing	XY335		ZD958		512-4	
		D1	D2	D1	D2	D1	D2
2012	50	10 424.6 b	10 950.2 ab	9 713.4 ab	10 237.5 b	9 708.3 c	10 799.9 a
	60	10 797.6 a	11 040.8 a	9 823.4 ab	10 662.2 a	10 131.6 a	10 686.6 a
	70	10 662.0 ab	10 903.1 ab	9 915.2 a	10 497.6 ab	9 892.5 b	10 472.0 b
	80	10 368.0 b	10 533.3 b	9 477.2 b	10 088.0 b	9 721.7 c	10 169.6 c
	80+40	10 485.8 b	10 686.9 b	9 627.0 ab	10 545.9 ab	9 955.4 b	10 209.9 c
2013	50	10 240.2 b	11 697.0 c	9 426.3 c	11 039.3 a	10 070.0 b	11 245.2 a
	60	10 405.4 a	12 287.6 a	9 807.5 ab	10 929.9 a	10 449.5 a	11 169.6 a
	70	10 301.6 ab	11 953.2 b	10 047.5 a	10 534.2 b	10 125.5 b	11 025.2 b
	80	10 194.2 b	11 613.6 c	9 351.8 c	10 226.9 c	10 052.7 b	10 563.0 c
	80+40	10 052.3 bc	11 728.5 c	9 405.2 c	10 352.0 c	10 226.0 b	10 898.0 b

表 3 不同玉米品种在不同种植模式下成熟期单株生物量
Table 3 Dry matter accumulation per plant of maize in different varieties and cultivation patterns on maturity g/株

年 份 Year	行距(cm) Rowspacing	XY335		ZD958		512-4	
		D1	D2	D1	D2	D1	D2
2012	50	339.10 c	302.34 c	270.23 b	252.72 a	247.07 c	259.06 a
	60	378.93 a	324.82 a	276.21 b	255.75 a	259.88 b	252.36 a
	70	372.63 a	306.57 bc	286.90 a	238.37 b	277.34 a	235.57 c
	80	359.72 b	310.44 b	270.23 b	231.25 b	245.48 c	224.56 c
	80+40	331.13 c	311.89 b	249.71 c	256.82 a	279.16 a	243.63 b
2013	50	362.86 a	312.70 ab	325.05 a	286.12 a	309.39 b	298.52 a
	60	366.05 a	320.37 a	325.31 a	287.74 a	322.55 a	303.89 a
	70	365.90 a	316.66 a	329.08 a	285.24 a	319.66 a	299.54 a
	80	329.97 c	296.11 b	309.10 c	243.54 b	288.22 c	279.19 b
	80+40	341.70 b	314.16 a	315.29 b	283.76 a	307.25 b	271.42 b

2.4 不同种植模式下不同品种叶片 SPAD 值比较

由表 4 看出,3 个品种比较, 叶片 SPAD 值在 6 叶期以 512-4 最高,ZD958 最低; 吐丝期以 XY335 最高,ZD958 最低; 成熟期以 XY335 最高,512-4 最低。两个密度比较,吐丝期低密度大于高密度;6 叶期和成熟期差异不显著。

5 个行距比较,在 6 叶期以 50 cm 行距略高,其余处理间差异不显著;在吐丝期两年均表现为 60 cm 最高; 在成熟期,两年均表现为 60 cm>50 cm>80+40 cm>70 cm>80 cm。先玉 335 持绿性较好,60 cm 行

距有利于提高叶片持绿性, 两个密度对叶片持绿性的影响不显著。

2.5 不同种植模式下不同品种冠层光能分布比较

由表 5 看出, 冠层中部和下部光截获率在不同密度条件下综合比较, 两年均表现为高密度大于低密度,且差异显著;中下部受光率差异均不显著。

不同行距比较, 冠层下部光截获率两年均表现为 50 cm>60 cm>70 cm>80+40 cm>80 cm; 冠层中部光截获率均表现为 50 cm>80+40 cm>>60 cm>70 cm>80 cm, 冠层中下部受光率表现为 70 cm>60 cm>

80 cm>80+40 cm>50 cm。

50、60、70 cm 行距处理中，地上部冠层对光的截获率较高,3 个处理之间差异不显著，但均与 80 cm 行距和宽窄行差异显著。比较中下部受光率,70 cm 和 60 cm 行距下较高,两年分别比 50 cm 行距高出总辐射量的 2.5%、1.7%和 2.8%、2.4%。60 cm 和 70 cm 行距与 50 cm 相比,虽然冠层光的截获率差异不显著,但分布更加合理。

表 4 不同玉米品种在不同种植模式下叶绿素 SPAD 值差异性比较
Table 4 SPAD of maize in different varieties and cultivation patterns

因 素 Factor			2012			2013		
			6 叶期	吐丝期	成熟期	6 叶期	吐丝期	成熟期
			6 leaves	Silking	Maturity	6 leaves	Silking	Maturity
品种 Cultivar	XY335		36.66 ab	59.36 a	37.26 a	47.05 b	59.49 a	35.42 a
	ZD958		34.98 b	57.34 b	31.52 b	46.74 b	58.15 b	34.12 b
	512-4		37.51 a	58.68 a	30.67 b	49.53 a	58.54 b	33.69 b
密度 Density	D1		36.47 a	59.75 a	33.99 a	48.07 a	59.25 b	34.52 a
	D2		36.30 a	57.17 b	32.31 a	47.48 a	58.21 a	34.29 a
行距 Rowspacing	50		36.93 a	58.45 a	33.26 a	48.23 a	59.48 a	35.02 a
	60		35.29 a	59.02 a	33.80 a	47.88 b	59.66 a	35.67 a
	70		36.48 a	57.81 b	32.65 b	47.64 b	57.29 c	34.51 b
	80		36.36 a	58.39 a	32.52 b	47.75 b	58.02 b	33.13 c
	80+40		36.86 a	58.63 a	33.53 a	47.37 b	59.19 a	33.69 c

表 5 不同种植模式下吐丝期冠层光能分布比较
Table 5 Canopy light radiation of cultivation patterns on silking stage $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$

年 份 Year	因 素 Factor		光辐射量 Ray radiation			光截获率(%) Light interception rate		中下部受光率(%) Light receiving rate in lower part
			顶部 Top	中部 Middle	下部 Bottom	中部 Middle	下部 Bottom	
2012	密度 Density	D1	1 089 b	325 a	129 a	70.2 b	88.2 b	18.0 a
		D2	1 099 a	304 b	108 b	72.3 a	90.2 a	17.9 a
	行距 Rowspacing	50	1 094 a	293 c	109 c	73.2 a	90.0 a	16.8 c
		60	1 082 a	312 b	111 c	71.2 b	89.7 a	18.5 a
		70	1 089 a	323 ab	113 c	70.3 bc	89.6 a	19.3 a
		80	1 098 a	331 a	135 a	69.9 c	87.7 c	17.8 b
		80+40	1 108 a	314 b	125 b	71.7 b	88.7 b	17.0 b
2013	密度 Density	D1	1 268 a	352 a	148 a	72.3 b	88.3 b	16.0 a
		D2	1 269 a	328 b	126 b	74.2 a	90.1 a	15.9 a
	行距 Rowspacing	50	1 271 a	313 c	126 c	75.4 a	90.1 a	14.7 c
		60	1 269 a	348 b	130 c	72.6 b	89.7 a	17.1 a
		70	1 266 a	355 a	133 c	72.0 c	89.5 a	17.5 a
		80	1 267 a	359 a	158 a	71.6 c	87.5 c	15.9 b
		80+40	1 265 a	324 c	140 b	74.4 a	88.9 b	14.5 c

2.6 不同种植模式下不同品种田间小气候比较

由表 6 得出,在吐丝期,田间 CO₂ 浓度在 3 个品种间比较表现为 512-4>ZD958>XY335;两个密度间比较,表现为低密度大于高密度,且差异显著;不同行距处理比较,表现为 80 cm>70 cm>80+40 cm>60 cm>50 cm。

冠层温度在 3 个品种间比较,表现为 XY335>ZD958>512-4;两个密度间比较,表现为高密度大于低密度;不同行距处理比较,表现为 50 cm>60 cm>70 cm>80+40 cm>80 cm,80 cm 行距处理与前者均差异显著。

冠层相对湿度在 3 个品种比较,表现为

XY335>ZD958>512-4, 差异显著; 两个密度间比较, 表现为高密度大于低密度, 差异不显著; 不同行距

处理比较, 表现为 50 cm>60 cm>70 cm>80+40 cm>80 cm。

表 6 不同玉米品种在种植模式下吐丝期田间小气候比较

Table 6 Field microclimate in different varieties and cultivation patterns on silking stage

因 素 Factor		2012			2013		
		CO ₂ 浓度(μmol/L)	温度(°C)	相对湿度(%)	CO ₂ 浓度(μmol/L)	温度(°C)	相对湿度(%)
		CO ₂ concentration	Temperature	Relative humidity	CO ₂ concentration	Temperature	Relative humidity
品种 Cultivar	XY335	431.77 b	32.08 a	63.88 a	351.36 b	34.89 a	50.72 a
	ZD958	438.00 a	31.46 b	63.29 b	363.35 a	34.44 b	48.63 b
	512-4	438.99 a	31.34 b	62.59 c	364.78 a	34.00 c	48.00 c
密度 Density	D1	436.53 a	31.34 b	62.73 a	360.65 a	34.55 a	49.06 a
	D2	435.97 b	31.58 a	62.78 a	359.01 b	34.61 a	49.17 a
行距 Rowspacing	50	434.94 b	31.94 a	63.96 a	356.58 b	34.71 a	50.13 a
	60	435.52 b	31.88 a	63.48 b	356.67 b	34.66 a	49.66 b
	70	437.58 a	31.62 b	63.31 b	363.38 a	34.62 a	48.91 c
	80	437.68 a	31.09 c	62.56 c	364.43 a	34.34 b	48.17 c
	80+40	435.54 b	31.60 b	62.97 c	358.08 b	34.55 a	48.70 c

3 结论与讨论

近年来,夏玉米在生产上的种植密度逐渐增加,高密度栽培也将成为今后玉米高产栽培的发展方向。随着密度的增加,冠层通气、透光条件会随之变差。前人研究表明,合理的行距配置有利于改善冠层的光、温、气、热等环境条件,构建良好的冠层结构,促进玉米产量提高^[6,7]。选用耐密植的品种,采用合理的种植行距可以在一定程度上改善冠层环境。

在玉米群体内,太阳光辐射的分布会随着垂直高度的降低而减少^[8]。群体内光分布的不同,在一定程度上会调节干物质在不同部位的分配比例,从而影响玉米产量^[9,10]。本试验对不同密度和不同行距条件下玉米群体的光辐射分布进行比较发现,高密度群体冠层的光截获率显著高于低密度群体,但是中下部的受光率差异不显著,说明不同密度条件下光的截获率差异主要在穗位以上。不同行距间比较发现,80 cm 和 80 cm + 40 cm 的宽窄行种植的缺点是冠层漏光较多;其余 3 个行距处理比较,虽然光的截获率都较高,但 60 cm 和 70 cm 行距的光分布更加合理,主要表现在缺光的穗位以下光的分布相对较多,有利于促进下层叶片的光合效率,提高光合产物向根部的运输能力。

不同行距会影响冠层的通风条件,从而影响田间温度、湿度、CO₂ 浓度等指标,通过对光合作用的影响而造成产量差异^[11]。本试验结果表明,矮秆品种群体的通风性相对较好,冠层 CO₂ 浓度较高,温、湿

度较低。行距间比较,宽行的通风性要优于窄行,有利于增加 CO₂ 浓度,降低温、湿度。冠层温度过高会产生高温胁迫,过低会降低光合速率;湿度过高会增加病害,过低则不利于保墒,因此冠层的温、湿度需要控制在合理的范围。玉米是 C₄ 作物,对 CO₂ 的吸收效率较高,不同行距种植 CO₂ 浓度的差异并不会对产量产生太大的影响。相对来讲,冠层下部的光辐射在大群体条件下经常处于胁迫状态,对产量的影响更大^[12]。

从连续两年的试验结果看,60 cm 等行距处理使光辐射在群体的分布较为合理,温、湿度的范围控制较为安全,有利于玉米生长,提高抗逆性,从而能够在不同品种和不同的密度条件下均获得较好的产量。

参考文献:

- [1] 李 猛,陈现平,张 建,等. 不同密度与行距配置对紧凑型玉米产量效应的研究[J]. 中国农学通报,2009,25(8):132-136.
Li M, Chen X P, Zhang J, et al. Study on the yield of erectophile type maize under the different density and the row spacing[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(8): 132-136. (in Chinese)
- [2] 杨利华,张丽华,张全国,等. 种植样式对高密度夏玉米产量和株高整齐度的影响[J]. 玉米科学,2006,14 (6):122-124.
Yang L H, Zhang L H, Zhang Q G, et al. Effect of row spacing pattern on yield and plant height uniformity in highly-densed summer maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14 (6):122-124. (in Chinese)
- [3] 王斌,李宏,李爱军,等. 普通株型玉米不同密度下种植模式的研究[J]. 中国农学通报,2009,25(14):122-125.
Wang B, Li H, Li A J, et al. General type maize planting density of different modes of study[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009,

- 25(14): 122-125. (in Chinese)
- [4] Lufs Sangoi, Mircio Ender, Altamir Frederico Guidolin, et al. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer[J]. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 2001, 36(6): 861-869.
- [5] Dale E F. Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture[J]. Agron. J., 2001, 93: 1049-1053.
- [6] 吕丽华, 陶洪斌, 夏来坤, 等. 不同种植密度下的夏玉米冠层结构及光合特性[J]. 作物学报, 2008, 34(3): 447-455.
- Lü L H, Tao H B, Xia L K, et al. Canopy structure and photosynthesis traits of summer maize under different planting densities[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(3): 447-455. (in Chinese)
- [7] 张永科, 孙茂, 张雪君, 等. 玉米密植和营养改良之研究 II. 行距对玉米产量和营养的效应[J]. 玉米科学, 2006, 14(2): 108-111.
- Zhang Y K, Sun M, Zhang X J, et al. Study on close planting and nutrient improvement of maize II. Effect of row distance to yield and nutrition of maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(2): 108-111. (in Chinese)
- [8] 章家恩, 黄润, 刘楚生, 等. 玉米株叶形态结构的可视化模拟初步研究[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(4): 5-7.
- Zhang J E, Huang R, Liu C S, et al. Preliminary study on the visualization modeling of maize leaf structure[J]. Journal of South China Agricultural University, 2001, 22(4): 5-7. (in Chinese)
- [9] 王庆祥, 顾慰连, 戴俊英. 玉米群体的自动调节与产量[J]. 作物学报, 1987, 13(4): 281-287.
- Wang Q X, Gu W L, Dai J Y. Effect of population autoregulation on yield in maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 1987, 13(4): 281-287. (in Chinese)
- [10] 沈秀英, 戴俊英, 胡安畅, 等. 玉米群体冠层特征与光截获率及产量关系的研究[J]. 作物学报, 1993, 19(3): 246-252.
- Shen X Y, Dai J Y, Hu A C, et al. Studies on relationship among character of canopy light interception and yield in maize population[J]. Acta Agronomica Sinica, 1993, 19(3): 246-252. (in Chinese)
- [11] 曹娜, 于海秋, 王绍斌, 等. 高产玉米群体的冠层结构及光合特性分析[J]. 玉米科学, 2006, 14(5): 94-97.
- Cao N, Yu H Q, Wang S B, et al. Analysis on canopy structure and photosynthetic characteristics of high yield maize population[J]. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(5): 94-97. (in Chinese)
- [12] 张吉旺, 董树亭, 王空军, 等. 遮荫对夏玉米产量及生长发育的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 657-662.
- Zhang J W, Dong S T, Wang K J, et al. Effects of shading on the growth, development and grain yield of summer maize[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(4): 657-662. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)

(上接第 114 页)

- [14] 谢夏玲, 赵元忠. 玉米膜下滴灌土壤温度的变化规律[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(1): 90-92.
- Xie X L, Zhao Y Z. Patterns of soil temperature under drip irrigation with mulch in maize[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 27(1): 90-92. (in Chinese)
- [15] Pablo R G, O'Neill M K, McCaslin B D, et al. Evaluation of corn grain yield and water use efficiency using subsurface drip irrigation[J]. Journal of Sustainable Agriculture, 2007, 30(1): 153-172.
- [16] 桑志勤, 陈树宾, 段震宇, 等. 北疆麦后免耕滴灌复播青贮玉米生理特性和产量结构特点研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(9): 1576-1580.
- Sang Z Q, Cheng S B, Duan Z Y, et al. Comparison of physiological property and yield production with multiple cropping silage corn in the condition of no-tillage and drip irrigation in northern Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2012, 49(9): 1576-1580. (in Chinese)
- [17] 李长照, 刘庆华, 仲爽. 玉米膜下滴灌土层增温效果的研究[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(10): 49-51.
- Li C Z, Liu Q H, Zhong S. Study on warming effect of tectorial membrane of drip irrigation for corn[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2009, 40(10): 49-51. (in Chinese)

(责任编辑:姜媛媛)