

网络出版时间:2015-10-13 08:46

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.11.009

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20151013.0846.018.html>

种植密度与品种类型对渭北旱地春玉米 产量和光能利用的影响

周婷婷, 李 军, 司政邦

(西北农林科技大学 农学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】探讨渭北旱塬春玉米田不同种植密度和不同品种类型处理对春玉米生长、产量及光能利用效率的影响,为渭北旱塬区旱地玉米稳产高产提供理论依据。【方法】以豫玉 22(平展型)、郑单 958(紧凑型)和先玉 335(耐密型)为供试品种,设置 5.25, 6.75, 8.25 和 9.75 万株/hm² 4 种密度处理,研究各生育时期玉米群体叶面积指数(LAI)、干物质积累、产量及其性状、光能利用率(RUE)、水分利用效率(WUE)和经济效益的变化规律。【结果】增加种植密度可以提高春玉米 LAI 和群体干物质积累量,进而提高春玉米群体对旱地光能和水分的利用,最终实现增产增收;不同密度下以 8.25 万株/hm² 的产量最高,平均产量达 8.97 t/hm²,群体光能利用效率达 1.50 左右;各品种间耐密性以先玉 335 最好,郑单 958 次之,豫玉 22 较差。【结论】在渭北旱塬春玉米种植区,应适当增加种植密度,同时应选育紧凑、耐密型品种。本试验条件下,先玉 335 在 8.25 万株/hm² 密度下产量和纯收益最高,为渭北旱塬较适宜的春玉米密度和种植模式。

【关键词】 渭北旱塬; 种植密度; 春玉米; 光能利用效率; 水分利用效率; 经济效益

【中图分类号】 S513

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)11-0054-09

Effects of planting density and variety on growth and RUE of spring maize in Weibei highland

ZHOU Ting-ting, LI Jun, SI Zheng-bang

(College of Agronomy, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The effects of planting density and spring maize variety on growth, yield and radiation use efficiency in Weibei highland were studied. 【Method】 Field experiments were conducted using three spring maize cultivars Yuyu 22 (plat leaf type), Zhengdan 958 (compact leaf type), and Xianyu 335 (high planting density type), as well as four planting population densities of 52 500, 67 500, 82 500 and 97 500 plants/hm². 【Result】 Increasing plant density improved the radiation use efficiency (RUE), water use efficiency (WUE) and yield and income by increasing leaf area index (LAI) and dry matter quantity. The highest average yield was 8.97 t/hm² when the density was 82 500 plants/hm² and the RUE was 1.50. The density-tolerance was in a decreasing order of Xianyu 335 > Zhengdan 958 > Yuyu 22. 【Conclusion】 Increasing plant density and selecting compact leaf and high planting density spring maize types was suggested in Weibei highland. In this experiment, Xianyu 335 at 82 500 plants/hm² had the highest yield and income, so it is in the best combination in Weibei highland.

【收稿日期】 2015-04-24

【基金项目】 国家“863”计划项目(2013AA102902-5); 公益性行业(农业)科研专项(201303104)

【作者简介】 周婷婷(1989—), 女, 湖北随州人, 在读硕士, 主要从事高效种植制度研究。E-mail: zhouyingting@nwsuaf.edu.cn

【通信作者】 李 军(1964—), 男, 甘肃涇川人, 教授, 博士生导师, 主要从事高效农作制度和旱作农业生态研究。

E-mail: junli@nwsuaf.edu.cn

Key words: Weibei highland; planting density; spring maize; radiation use efficiency; water use efficiency; income

中国玉米总产量位居世界第 2 位,但随着玉米深加工和饲料消费的持续增长,中国玉米生产仍然供不应求^[1]。陕西渭北旱塬区地处黄土高原中南部,光热水土条件有利于玉米稳产和高产^[2],近年来玉米种植面积持续扩大,正在由传统冬小麦种植区向玉米种植区转变,已成为渭北旱塬粮食增产增收的主要途径。合理密植是获得玉米高产的重要途径,在一定范围内玉米单产与种植密度呈现正相关,但种植密度过高则导致玉米产量降低^[3]。世界玉米高产纪录均为超高密度群体下实现的,美国玉米高产纪录田收获密度为 10.9 万株/hm²,而中国玉米高产记录田最大密度仅为 7.0 万株/hm²^[4];美国平均玉米种植密度为 8.55~10.95 万株/hm²,中国仅为 5.25~6.0 万株/hm²,因此选用耐密型品种和提高种植密度是中国实现玉米高产突破的重要途径^[5]。王楷等^[6]认为,实现玉米 15 t/hm² 以上产量水平的最适种植密度为 7.15~14.45 万株/hm²。当然,水热条件和土壤肥力对玉米生长发育和产量形成也具有重要影响^[7-8],不同生态区域适宜品种类型和种植密度差异显著,但目前关于渭北旱塬春玉米品种类型与合理密植效应的研究报道较少。渭北旱塬玉米种植密度一般仅为 3.75~4.50 万株/hm²,玉米单产仅为 5.25~6.0 t/hm²,种植密度和单产水平普遍偏低。针对渭北旱塬玉米品种类型杂乱、种植密度偏低、单产水平不高玉米生产中存在的主要问题,本研究选择平展型、紧凑型 and 耐密型 3 种株型玉米品种,研究不同种植密度对渭北旱塬旱地不同株型玉米品种群体叶面积指数、干物质积累、产量、光能利用效率、水分利用效率和经济效益的影响,通过分析各处理间产量和经济效益的差异,筛选出提高产量和光能利用效率的最优玉米品种和种植密度组合栽培模式,以期为渭北旱塬区旱地玉米稳产高产提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

春玉米密植效应试验于 2013—2014 年在陕西省合阳县甘井镇西北农林科技大学旱作农业试验站进行。该试验站位于渭北旱塬东部,属暖温带半湿润易旱气候区,海拔 850 m,年日照时数 2 528.3 h 左右,年平均温度为 10.5℃,年降水量仅 550 mm

左右,且降水主要集中于 7~9 月,农业生产以旱作农业为主。供试土壤为黑垆土,土壤初始养分含量分别为有机质 14.76 g/kg,速效钾 215.72 mg/kg,速效磷 6.08 mg/kg,全钾 11.27 g/kg,全磷 0.39 g/kg,全氮 0.93 g/kg,收获后土壤体积质量平均为 1.38 g/cm³。

1.2 试验设计

本试验采用裂区设计,以种植密度为主处理,玉米品种为副处理。根据各品种在旱地生长情况设置不同种植密度梯度处理,共 5.25,6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 4 个水平,供试玉米品种分别为豫玉 22(平展型)、郑单 958(紧凑型)、先玉 335(耐密型)3 个品种类型。其中,豫玉 22 和郑单 958 设置 5.25,6.75 和 8.25 万株/hm² 3 种种植密度,先玉 335 设置 6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 3 种种植密度,共设置 9 个处理,3 次重复,共计 27 个小区,每个小区面积为 17 m×3 m=51 m²。

在春玉米收获后将全部玉米秸秆打碎还田,分别于 2013-04-26 和 2014-04-29 进行人工点播,播种前人工施入化肥,施肥量分别为氮肥 150 kg/hm²,磷肥 120 kg/hm²,钾肥 90 kg/hm²,其中氮肥、磷肥、钾肥分别为尿素(N=46.4%)、磷酸二铵(N:P=18%:46%)和氧化钾(K=51.0%)。施肥方式采用当地“一炮轰”技术,即播前肥料一次性全部施入,不追肥;试验完全为雨养旱作,期间无人工灌溉,其他田间管理措施基本与当地大田相同。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 叶面积指数 LAI 分别在春玉米苗期(三叶期,2013-06-05 和 2014-05-30)、拔节期(2013-07-04 和 2014-06-30)、抽雄期(2013-07-25 和 2014-07-20)、灌浆期(2013-08-23 和 2014-08-19),从每小区选取有代表性植株 5~10 株,测定其全部展开叶片的长度与宽度,计算叶面积指数。

单叶面积=长×宽×0.75;

叶面积指数(LAI)=单株叶面积×单位土地面积内株数/单位土地面积。

1.3.2 干物质积累量 分别在拔节期、抽雄期、灌浆期和成熟期选取 5 株长势均匀的植株,置烘箱内,先 105℃杀青 30 min,然后在 80℃下烘干至恒质量,计算干物质积累量。

1.3.3 测产与考种 春玉米收获期每小区取 9 m²

样方,3 次重复,测定实际产量和有效穗数,随机取 30 株有代表性植株,重复 3 次,进行室内考种,包括穗粒数和千粒质量,用于测定玉米理论产量、收获指数和产量构成。

产量=单株籽粒产量×单位面积穗数;

收获指数=单位面积籽粒产量/单位面积总生物产量。

1.3.4 光能利用率(RUE)、水分利用效率(WUE)和经济效益 (1) $RUE=(H\times W/Q)\times 100\%$ 。

式中: H 为单位质量干物质的产热率,籽粒为 16.3×10^3 kJ/kg,秸秆为 14.6×10^3 kJ/kg; W 为单位土地面积作物干物质的质量; Q 为生育期太阳总辐射量。相关气象数据来源于合阳县气象局。

(2) $WUE=Y/ET,ET=P+(We-Wb)$ 。

式中: Y 为单位面积的经济产量(kg/hm²), ET 为生育期耗水量(mm), P 为作物生育期有效降水量(mm), We 和 Wb 分别为播前和收获后的土壤贮水量(mm)。

(3)产量收入=籽粒产量×市场价格;
纯收益=产量收入-总投入。

式中:总投入包括种子、农药、化肥和人工,以及秸秆还田、翻耕、旋地和收获的机械投入;玉米市场价格为 1.80 元/kg,尿素 2.4 元/kg,二铵 3.2 元/kg,氧化钾 5.2 元/kg,机械投入共 1 575 元/hm²。

1.4 数据分析

试验数据、图表处理均采用 Excel 2010,统计分析和差异显著性检验采用 SPSS 19.0。

2 结果与分析

2.1 种植密度和品种类型对春玉米 LAI 的影响
由图 1 可知,2013 年和 2014 年各玉米品种在不同种植密度处理下群体叶面积指数(LAI)变化动态基本相似,均随种植密度增加而增加,随生育进程而呈现 S 型单峰曲线变化,即从苗期至拔节期 LAI 逐渐增大,在抽雄期时达到最大值,此后开始不同程度地下降,且随着种植密度增加,LAI 降幅越大。

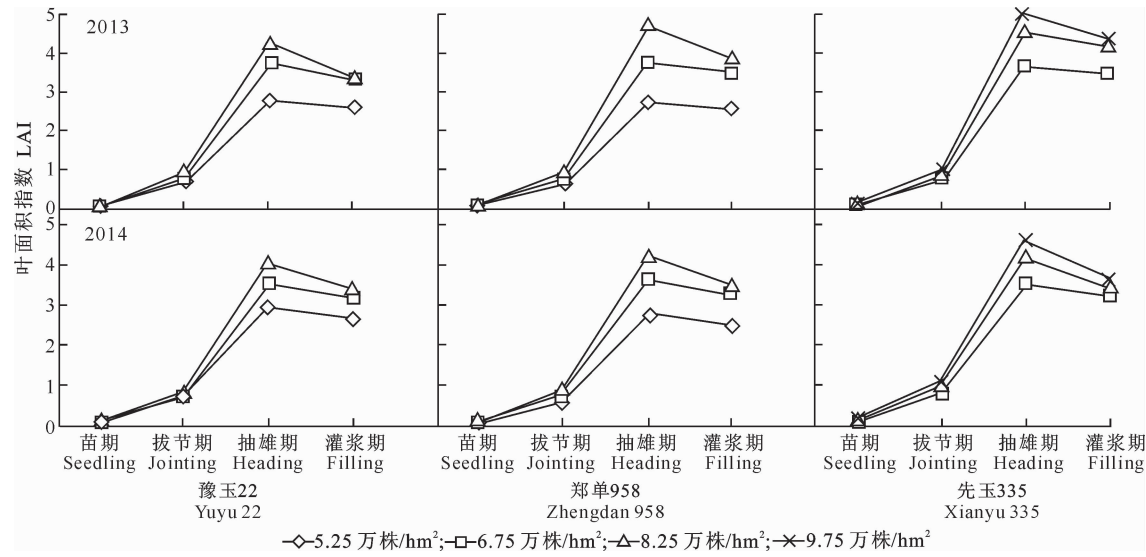


图 1 不同种植密度和品种类型春玉米叶面积指数(LAI)的变化

Fig. 1 Changes of leaf area index (LAI) under different planting densities and variety types of spring maize

由图 1 可知,在 2013 年春玉米生育期,LAI 在抽雄期最大,到灌浆期后各密度平均 LAI 值分别下降 7.01%,8.25%,16.30%和 13.99%,8.25 和 9.75 万株/hm² 密度下降幅要大于 5.25 和 6.75 万株/hm²,表明在一定密度范围内,增加种植密度有助于增加春玉米群体受光面积,是构建高光效群体的重要栽培措施,而密度过高使叶片间相互遮挡明显,后期植株个体间竞争加剧。同时,不同密度下各玉米品种 LAI 表现不同,在 6.75 万株/hm² 密度下,豫玉 22、郑单 958 和先玉 335 在抽雄期和灌浆

期的 LAI 均差异不显著;在 8.25 万株/hm² 密度下,豫玉 22 抽雄期 LAI 比郑单 958 低 10.46%,差异显著,比先玉 335 低 7.40%,差异不显著,到灌浆期后,豫玉 22 LAI 比郑单 958 和先玉 335 分别低 14.08%和 24.03%,可见,在较高密度下,选择紧凑型 and 耐密型品种有助于增加春玉米 LAI,有利于春玉米群体对光能的吸收与利用。

由图 1 可见,2014 年各玉米品种 LAI 随密度变化趋势与 2013 年基本相似。由抽雄期至灌浆期,各密度平均 LAI 值分别下降 10.06%,9.40%,

17.00%和20.77%,密度越大,LAI降幅越大。不同密度下各玉米品种 LAI 表现为,在 6.75 万株/hm² 密度下,豫玉 22、郑单 958 和先玉 335 在抽雄期和灌浆期的 LAI 均差异不显著;在 8.25 万株/hm² 密度下,豫玉 22 抽雄期 LAI 比郑单 958 和先玉 335 分别低2.87%和 2.52%,差异不显著。

2.2 种植密度和品种类型对春玉米群体干物质积累量的影响

由图 2 可知,玉米品种在不同种植密度下,随着种植密度增大群体干物质积累量的增幅不同。2013 年,在不同种植密度下,平均群体干物质积累量在各生育时期差异均达到显著水平 ($P<0.05$),表现为 5.25 万株/hm² < 6.75 万株/hm² < 8.25

万株/hm² < 9.75 万株/hm²。在拔节期,不同密度群体干物质积累量分别为 1 276.05,1 480.30,1 694.30 和 1 824.09 kg/hm²,6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 密度下干物质积累量较 5.25 万株/hm² 密度下分别增加了 16.01%,32.78%和 42.95%。随着玉米植株个体的生长和发育,在灌浆期和成熟期,春玉米个体间对空间和营养的竞争加剧,群体干物质积累量增幅随密度增加开始下降,先玉 335 的 9.75 万株/hm² 处理比 8.25 万株/hm² 处理仅分别提高了 3.10%和 1.30%。由此可见,增加密度有利于群体干物质积累,但密度过高时,群体干物质积累量增幅降低。

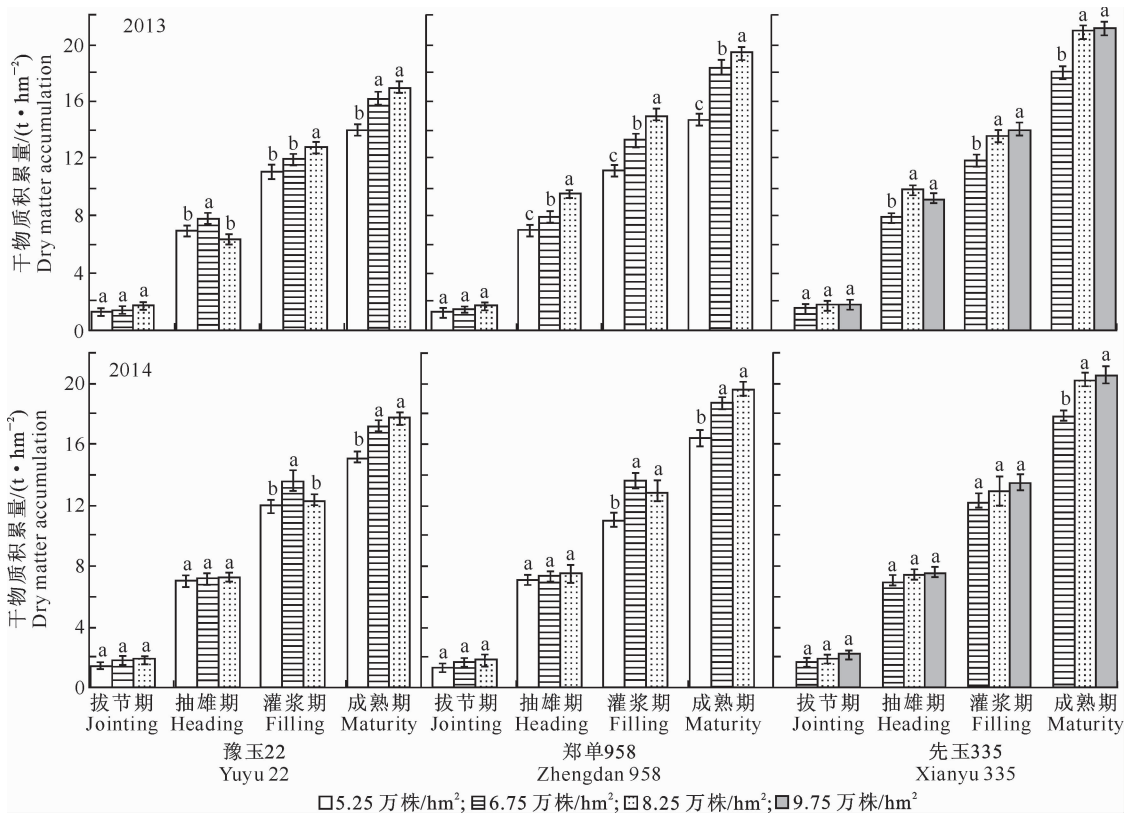


图 2 不同种植密度和品种类型春玉米群体干物质积累量的变化动态

相同生育期标不同小写字母表示同一品种不同密度处理间差异显著 ($P<0.05$)

Fig. 2 Changes of dry matter accumulation under different planting densities and variety types of spring maize

On the same growth period, different lowercase letters stand for significance at 5% level ($P<0.05$)

由图 2 可以看出,2014 年群体干物质积累量仍表现为随密度增大而增加。在 5.25 万株/hm² 密度处理下,豫玉 22 和郑单 958 群体干物质积累量无明显差异;在 6.75 万株/hm² 密度处理下,不同春玉米品种在各生育时期的群体干物质积累量均无明显差异;在 8.25 万株/hm² 密度处理下,郑单 958 成熟期群体干物质积累量比豫玉 22 提高了 11.04%,差异

显著,但与先玉 335 差异不显著。可见,密度对群体干物质积累量的影响大于品种间的差异。

2.3 种植密度和品种类型对春玉米产量构成因素及产量的影响

由表 1 可知,种植密度对产量构成因素有显著影响 ($P<0.05$),其中有效穗数随种植密度增大而显著增加 ($P<0.05$),而穗粒数和千粒质量则随种

植密度增大而降低。提高种植密度可以增加春玉米产量,而不同品种春玉米产量对高密度处理响应不同,密度增加后玉米产量增幅不大,甚至出现减产现象。在 2013 年生育期内,豫玉 22 在密度 6.75 万株/hm² 处理下产量达最高值,而密度增加到 8.25 万株/hm² 时产量下降;郑单 958 在 8.25 万株/hm² 下产量较 5.25 和 6.75 万株/hm² 分别提高了 24.46%和 0.77%;先玉 335 在 8.25 万株/hm² 下产量较 6.75 万株/hm² 提高了 12.42%,但在 9.75 万株/hm² 下产量较8.25万株/hm² 降低了 2.65%,差异不显著。2014 年不同密度处理下春玉米产量

与 2013 年有相似趋势,不同品种春玉米产量随密度增加的幅度不同。在 5.25~8.25 万株/hm²,密度增加对豫玉 22 的增产效果不显著;郑单 958 在密度 8.25 万株/hm² 下产量较 6.75 万株/hm² 提高了 4.45%,差异不显著;先玉 335 在密度 8.25 万株/hm² 时产量较密度 6.75 万株/hm² 时提高了 12.21%,较密度 9.75 万株/hm² 时提高了 3.47%。

综合 2013 年和 2014 年 2 年数据表明,适当提高种植密度可以增加春玉米产量,同时不同品种对密度的耐受性不同,其中先玉 335 在 8.25 万株/hm² 密度下产量最高。

表 1 不同种植密度和品种类型春玉米的产量及其构成因素

Table 1 Changes of grain yield and its components under different planting densities and variety types of spring maize

年份 Year	品种 Variety	种植密度/ (万株·hm ⁻²) Density	有效穗数/ (×10 ³ ·hm ⁻²) Ear number	穗粒数 Grain number	千粒质量/g 1 000-grain weight	产量/ (t·hm ⁻²) Grain yield	收获指数 Harvest index
2013	豫玉 22 Yuyu 22	5.25	52.59 b	488.2 a	301.51 a	6.99 b	0.501 a
		6.75	62.41 a	433.1 b	290.53 b	7.89 a	0.494 a
		8.25	63.48 a	428.2 b	289.01 b	7.80 ab	0.460 b
	郑单 958 Zhengdan 958	5.25	54.48 c	498.8 a	307.36 a	7.59 b	0.513 a
		6.75	71.00 b	448.8 b	290.73 b	9.38 a	0.503 b
		8.25	72.95 a	441.9 b	285.91 c	9.45 a	0.479 c
	先玉 335 Xianyu 335	6.75	70.56 c	432.9 a	286.18 a	8.83 b	0.489 a
		8.25	81.81 b	418.9 b	284.62 ab	9.92 a	0.479 a
		9.75	85.67 a	414.2 b	283.13 b	9.66 ab	0.457 c
2014	豫玉 22 Yuyu 22	5.25	56.97 c	440.1 a	317.10 a	7.07 a	0.513 a
		6.75	63.60 b	415.6 b	309.28 b	7.72 a	0.481 b
		8.25	70.59 a	384.9 c	296.56 c	7.79 a	0.476 b
	郑单 958 Zhengdan 958	5.25	58.70 c	449.8 a	304.42 a	7.96 b	0.514 a
		6.75	68.07 b	423.8 b	300.40 a	9.31 a	0.481 b
		8.25	78.93 a	411.2 c	283.10 b	9.32 a	0.478 b
	先玉 335 Xianyu 335	6.75	67.74 c	417.6 a	296.71 a	8.51 b	0.476 a
		8.25	78.57 b	395.6 b	282.23 b	9.55 a	0.476 a
		9.75	82.07 a	392.5 b	279.33 b	9.23 a	0.449 b

注:同列数据后标不同小写字母表示同一品种不同密度处理间差异显著(P<0.05)。下表同。

Note:Different lowercase letters indicate significant difference within the same variety at 5% level(P<0.05). The same below.

2.4 种植密度和品种类型对春玉米群体光能利用率的影响

光能利用率表示植物通过光合作用将所截获、吸收的光能转化为自身有机干物质的效率,是表征植物固定太阳能效率的重要指标^[9]。经计算得,2013 和 2014 年春玉米生育期太阳总辐射量分别为 2 185.94 和 2 025.85 MJ/m²。表 2 结果表明,不同品种春玉米的光能利用率(RUE)随密度增大而增大。在 2013 年春玉米生育期,5.25,6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 密度下平均 RUE 分别为 1.02%,1.24%,1.35%和 1.50%,可见,增加种植密度有助于提高春玉米 RUE;随着种植密度的增大,不同品种在较高密度下的光能利用率差异显著(P<0.05),如在 6.75 万株/hm² 密度处理下,郑单 958

的 RUE 比豫玉 22 和先玉 335 分别提高了 12.89%和 2.27%,而在 8.25 万株/hm² 密度处理下,郑单 958 的 RUE 比豫玉 22 提高了 15.10%,比先玉 335 减少了 6.39%。在 2014 年春玉米生育期,9.75 万株/hm² 密度下春玉米 RUE 较 5.25,6.75 和 8.25 万株/hm² 密度下分别增加了 28.53%,14.07%和 6.42%,密度越大,RUE 增幅越小,在 6.75 万株/hm² 密度处理下,郑单 958 的 RUE 比先玉 335 提高了 5.21%,而在 8.25 万株/hm² 密度处理下,郑单 958 的 RUE 比先玉 335 减少了 3.24%。综合 2 年数据比较认为,在不同种植密度下春玉米平均光能利用率(RUE)表现为:5.25 万株/hm²<6.75 万株/hm²<8.25 万株/hm²<9.75 万株/hm²,说明增加种植密度可以增加春玉米对光能资源的利用,

同时,在较高密度下选用紧凑型 and 耐密型品种有助于提高光能利用效率。

表 2 不同种植密度和品种类型春玉米 RUE、WUE 和经济效益的变化

Table 2 Changes of RUE,WUE and income under different planting densities and variety types of spring maize

年份 Year	品种 Variety	种植密度/ (万株·hm ⁻²) Density	光能 利用率/% RUE	生育期 耗水量/mm Total water consumption	水分利用效率/ (kg·hm ⁻² · mm ⁻¹) WUE	总投入/ (元·hm ⁻²) Total cost	产量收入/ (元·hm ⁻²) Yield income	纯收益/ (元·hm ⁻²) Return
2013	豫玉 22 Yuyu 22	5.25	0.99 c	396.15	17.66 a	6 636	12 589	5 953 a
		6.75	1.15 b	408.42	19.32 a	6 756	14 203	7 447 a
		8.25	1.19 a	409.95	19.02 a	6 876	14 033	7 157 a
	郑单 958 Zhengdan 958	5.25	1.04 c	385.70	19.68 b	6 481	13 664	7 183 b
		6.75	1.30 b	388.50	24.13 a	6 556	16 877	10 321 a
		8.25	1.37 a	393.35	24.02 a	6 632	17 006	10 375 a
	先玉 335 Xianyu 335	6.75	1.27 b	417.59	21.13 b	6 891	15 885	8 994 a
		8.25	1.47 a	414.15	23.96 a	7 041	17 859	10 818 a
		9.75	1.50 a	423.15	22.83 ab	7 191	17 386	10 195 a
	豫玉 22 Yuyu 22	5.25	1.17 b	412.22	18.86 b	6 636	13 998	7 362 a
		6.75	1.32 a	395.34	20.99 a	6 756	14 937	8 181 a
		8.25	1.35 a	423.85	19.92 ab	6 876	15 196	8 320 a
2014	郑单 958 Zhengdan 958	5.25	1.26 c	410.57	20.60 a	6 481	15 223	8 743 b
		6.75	1.43 b	423.09	21.30 a	6 556	16 219	9 663 a
		8.25	1.50 a	434.56	21.66 a	6 632	16 942	10 310 a
	先玉 335 Xianyu 335	6.75	1.36 b	409.80	20.78 b	6 891	15 327	8 436 b
		8.25	1.55 a	415.83	22.98 a	7 041	17 198	10 157 a
		9.75	1.56 a	432.87	21.33 b	7 191	16 622	9 431 a

2.5 种植密度和品种类型对春玉米群体水分利用效率的影响

2013 年和 2014 年春玉米生育期降水量分别为 360.6 和 494.7 mm。由表 2 可以看出,在 2013 年春玉米生育期间,6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 春玉米平均耗水量较 5.25 万株/hm² 分别增加了 3.56%,3.81%和 8.24%,差异不显著;5.25,6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 密度下平均 WUE 分别为 18.67,21.53,22.33 和 22.83 kg/(hm²·mm),6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 密度下春玉米平均 WUE 较 5.25 万株/hm² 密度下分别增加了 15.32%,19.62%和 22.27%。随着种植密度的增大,在较高密度下不同品种水分利用效率差异显著($P<0.05$),如在 6.75 万株/hm² 密度处理下,郑单 958 和先玉 335 的 WUE 比豫玉 22 分别提高了 24.92%和 9.39%。在 2014 年春玉米生育期间,由于降雨量增加,4 种植密度下的平均耗水量整体高于 2013 年,而 WUE 整体小于 2013 年,在 6.75 万株/hm²密度处理下,不同品种间 WUE 无显著差异,而在 8.25 万株/hm² 密度处理下,郑单 958 和先玉 335 的 WUE 比豫玉 22 分别提高了 8.74%和 15.36%。综合 2 年 WUE 平均值比较认为,5.25,6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 密度下平均春玉米耗水量分别为 401.16,407.12,415.28 和 428.01 mm;6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 密度下平均春玉米

WUE 较 5.25 万株/hm² 密度下分别增加了 10.81%,14.19%和 15.00%。这表明,种植密度对春玉米耗水量没有显著影响,但提高种植密度可以有效提高春玉米水分利用效率。

2.6 不同种植密度和品种类型春玉米的经济效益

从表 2 可以看出,在 2013 年,5.25,6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 密度下春玉米平均纯收益依次为 6 568,8 921,9 450 和 10 195 元/hm²,6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 春玉米纯收益较 5.25 万株/hm² 分别增加了 35.81%,43.87%和 55.21%;在 6.75 万株/hm²下,郑单 958 纯收益比豫玉 22 和先玉 335 分别提高了 38.59%和 14.75%,在 8.25 万株/hm² 处理下,郑单 958 纯收益比豫玉 22 提高了 44.97%,而比先玉 335 减少了 4.10%。在 2014 年间,5.25,6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 下的平均纯收益依次为 8 052,8 760,9 596 和 9 431 元/hm²,6.75,8.25 和 9.75 万株/hm² 密度下春玉米纯收益较 5.25 万株/hm² 分别增加了 8.79%,19.17%和 17.12%;在 6.75 万株/hm² 下,郑单 958 纯收益比豫玉 22 和先玉 335 分别提高了 18.12%和 14.55%,在 8.25 万株/hm² 处理下,郑单 958 纯收益比豫玉 22 和先玉 335 分别提高了 23.92%和 1.50%。2 年结果显示,在 9 种不同密度和品种类型处理组合中,以 8.25 万株/hm² 处理郑单 958 和先玉 335 的纯收益较高,2 年平均纯收益分别为 10 342 和 10 488

元/hm², 6.75 万株/hm² 处理郑单 958 次之, 2 年平均纯收益为 9 992 元/hm², 5.25 万株/hm² 处理豫玉 22 最低, 2 年平均纯收益为 6 657 元/hm²。

3 讨 论

3.1 种植密度和品种类型对春玉米产量的影响

提高种植密度可以增加群体库容量, 进而提高玉米群体产量^[5]。作物生产是一个种群过程, 要实现高产、高效, 应立足于群体生产水平的提高^[10]。本研究结果表明, 群体有效穗数随种植密度增加而显著增加, 但由于密度增加影响玉米单株生长, 甚至出现空秆现象, 致使各品种春玉米群体有效穗数不随密度按等比例增加, 穗粒数、千粒质量和收获指数随密度增加而逐渐降低。玉米产量与密度呈抛物线关系, 密度越高, 产量变幅越大, 产量稳定性越差^[6, 11-13]。本研究结果表明, 在 5.25 ~ 8.25 万株/hm², 豫玉 22 和郑单 958 产量随密度增加而缓慢增加, 且 6.75 和 8.25 万株/hm² 密度的产量差异不显著; 在 6.75 ~ 9.75 万株/hm², 先玉 335 随密度增加而呈先增加后减少的趋势。同时, 在相同的较高密度条件下, 不同品种间均以郑单 958 和先玉 335 产量显著高于豫玉 22。2 年试验均以先玉 335 在 8.25 万株/hm² 密度下产量最高, 且纯收益较高, 是提高渭北旱塬春玉米产量的适宜品种和密度组合。

干旱区土壤水分主要靠降雨补给, 土壤含水量主要受蒸发、降雨及植物生长节律的影响^[14]。舒维花等^[15]研究表明, 在干旱、半干旱地区, 随着柠条密度的增加, 耗水量也随之增加, 降水只能补充表层水分, 很难有效补充深层土壤水分。本研究结果表明, 高密度群体会消耗大量的土壤水分, 同时高密度也提高了春玉米群体冠层结构, 减少了春玉米群体棵间蒸发, 最终表现为不同密度下春玉米总的耗水量无显著差异, 这与陈光荣等^[16]的研究结果相似; 同时提高种植密度可以提高春玉米水分利用效率, 且 2013 年拔节期至抽雄期降雨量高于 2014 年, 满足作物生长发育的需要, 提高了 2013 年总体产量水平。2014 年前期高温干旱少雨, 虽然灌浆期后降水较多, 但前期干旱对玉米生长产生不利影响, 导致后期的降水利用效率不高。本研究结果表明, 在渭北旱塬雨养农田地区, 当密度增至 8.25 万株/hm² 时, 可以提高春玉米对旱地有限水分的利用效率, 进而提高旱地春玉米产量。

3.2 种植密度和品种类型对春玉米光能利用的影响

提高种植密度是玉米高产的重要措施之一, 密

度对冠层结构和功能的影响大于其他栽培措施^[4, 17]。叶面积指数(LAI)是量化群体冠层结构的重要指标, 其变化对叶片冠层的自动调节能力尤为重要^[18]。本研究经过 2 年密度试验表明, 在一定种植密度范围内, 密度对各玉米品种整个生育期 LAI 都具有显著的调控效应, LAI 随密度增加而增加, 生育后期随着密度的增加, 玉米群体内微环境不利于植株生长发育, 影响单株生长, 致使 LAI 呈下降趋势, 且密度越高, 降幅越大, 这与前人研究结果一致^[19-20]。在抽雄至灌浆期间, 不同玉米品种在较高密度下 LAI 的降幅不同, 豫玉 22、郑单 958 和先玉 335 在 6.75 万株/hm² 密度下的平均降幅分别为 10.08%, 8.27% 和 8.09%, 在 8.25 万株/hm² 密度下的平均降幅分别为 19.70%, 17.78% 和 12.53%, 可见, 高密度条件下, 品种间耐密性分别为先玉 335 > 郑单 958 > 豫玉 22。

植物干物质生产是其叶片光合作用合成的有机物质, 而干物质积累则是衡量作物生长发育的重要指标之一, 较高的群体干物质积累量是获得高产的物质基础^[21-23]。宋振伟等^[20]研究表明, 在 2.25 ~ 9.00 万株/hm², 各生育期群体干物质积累量随密度增加而显著增加, 而当密度增加到 11.25 万株/hm² 时干物质积累量已不再增加。本研究结果表明, 在 5.25 ~ 9.75 万株/hm² 内, 春玉米干物质积累量随密度增加而呈不同程度的增加, 密度越大增幅越小; 在相同密度处理下, 不同春玉米品种在各生育时期的群体干物质积累量均无明显差异, 在成熟期, 郑单 958 和先玉 335 干物质积累量都高于豫玉 22, 因此, 在同等群体干物质积累条件下, 紧凑型 and 耐密型品种可能将更多的干物质转移给籽粒, 进而提高产量, 但具体增产机理还有待于深入研究。

通过栽培措施及玉米株型的调控, 构建合理的群体结构, 有助于提高玉米光能利用率, 产生更多的光合作用产物, 实现高产目的^[24-26]。提高种植密度可以形成较大绿色覆盖层, 增加早期光能截获^[27], 在高密度条件下, 叶片净光合速率下降, 光合产物降低, 叶片衰老加快, 影响光合速率与净同化率^[28-29]。谢飞等^[30]研究表明, 在甜瓜单作和间作套种向日葵的栽培措施中, 提高种植密度可以提高群体对光能的截获, 进而提高光能利用率, 同时较高的光能利用率又进一步促进群体的生长。本研究通过 2 年对比试验发现, 种植密度和品种类型对春玉米 RUE 的影响均显著, 增加种植密度能显著提高春玉米群体冠层结构, 增大群体最大 LAI, 增加对光能辐射的截

获和利用,更多地将光能转化为群体干物质,植株个体通过自我调节能力将干物质转移到各生长、生殖器官,这对于充分利用旱地光热资源具有重要作用。同时本研究还表明,相同密度条件下,各玉米品种群体 RUE 表现为豫玉 22 明显小于郑单 958 和先玉 335,这主要是由于豫玉 22 株型平展,造成冠层过大,进而引起下部光照变劣,同时影响植株个体生长,致使群体 LAI 减少。由此可见,要充分利用旱地的光热资源,应采用高密度栽培措施,同时应选育紧凑、耐密型品种。

4 结 论

在渭北旱塬雨养农田地区,适当提高种植密度能显著提高春玉米群体冠层结构,增加对光能辐射的截获和利用,减少农田春玉米棵间水分蒸发,提高春玉米对光能和水分的利用,最终实现产量的提高。本试验条件下,先玉 335 在 8.25 万株/hm² 密度下产量和纯收益最高,适合于在渭北地区大面积推广。

〔参考文献〕

- [1] 乔颖丽,王艳华. 中国玉米需求及供需平衡趋势分析 [J]. 吉林农业科学,2013,38(3):81-85.
Qiao Y L, Wang Y H. Discussions on the trend of Chinese corn demand and supply-demand balance [J]. Jilin Agric Sci, 2013, 38(3):81-85. (in Chinese)
- [2] 李 荣,王 敏,贾志宽,等. 渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响 [J]. 农业工程学报, 2012,28(2):106-113.
Li R, Wang M, Jia Z K, et al. Effects of different mulching patterns on soil temperature, moisture water and yield of spring maize in Weibei Highland [J]. Transactions of the CSAE, 2012,28(2):106-113. (in Chinese)
- [3] 陈传永,侯玉虹,孙 锐,等. 密植对不同玉米品种产量性能的影响及其耐密性分析 [J]. 作物学报,2010,36(7):1153-1160.
Chen C Y, Hou Y H, Sun R, et al. Effects of planting density on yield performance and density-tolerance analysis for maize hybrids [J]. Acta Agron Sin, 2010, 36(7):1153-1160. (in Chinese)
- [4] 李淑华,许明学,张亚辉,等. 2012 年美国玉米高产竞赛简介 [J]. 玉米科学,2013,21(3):154-156.
Li S H, Xu M X, Zhang Y H, et al. Brief introduction of America national maize yield contest in 2012 [J]. Journal of Maize Sci, 2013, 21(3):154-156. (in Chinese)
- [5] 刘 伟,吕 鹏,苏 凯,等. 种植密度对夏玉米产量和源库特性的影响 [J]. 应用生态学报,2010,21(7):1737-1743.
Liu W, Lü P, Su K, et al. Effects of planting density on the grain yield and source-sink characteristics of summer maize [J]. Chin Jour of Appl Ecol, 2010, 21(7):1737-1743. (in Chinese)
- [6] 王 楷,王克如,王永宏,等. 密度对玉米产量(>15 000 kg · hm⁻²)及其产量构成因子的影响 [J]. 中国农业科学,2012,45(16):3437-3445.
Wang K, Wang K R, Wang Y H, et al. Effects of density on maize yield(>15 000 kg · hm⁻²) and yield components [J]. Sci Agric Sin, 2012, 45(16):3437-3445. (in Chinese)
- [7] 白彩云,李少昆,张厚宝,等. 郑单 958 在东北春玉米区生态适应性研究 [J]. 作物学报,2010,36(2):296-302.
Bai C Y, Li S K, Zhang H B, et al. Ecological adaptability of Zhengdan 958 hybrid in northeast of China [J]. Acta Agron Sin, 2010, 36(2):296-302. (in Chinese)
- [8] 戴明宏,赵久然,杨国航,等. 不同生态区和不同品种玉米的源库关系及碳氮代谢 [J]. 中国农业科学,2011,44(8):1585-1595.
Dai M H, Zhao J R, Yang G H, et al. Source-sink relationship and carbon-nitrogen metabolism of maize in different ecological regions and varieties [J]. Sci Agric Sin, 2011, 44(8):1585-1595. (in Chinese)
- [9] 赵育民,牛树奎,王军邦,等. 植被光能利用率研究进展 [J]. 生态学报,2007,26(9):1471-1477.
Zhao Y M, Niu S K, Wang J B, et al. Light use efficiency of vegetation: A review [J]. Chin Jour of Ecol, 2007, 26(9):1471-1477. (in Chinese)
- [10] 赵松岭,李凤民,张大勇,等. 作物生产是一个种群过程 [J]. 生态学报,1997,17(1):100-104.
Zhao S L, Li F M, Zhang D Y, et al. Crop production is a population process [J]. Acta Ecol Sin, 1997, 17(1):100-104. (in Chinese)
- [11] 史向远,李永平,周 静,等. 旱地玉米种植密度与产量及农艺性状的相关和灰色关联度分析 [J]. 玉米科学,2012,20(6):94-97.
Shi X Y, Li Y P, Zhou J, et al. Correlation analysis and grey correlated degree between yield and agronomic characters with planting density of maize in dry land [J]. Journal of Maize Sci, 2012, 20(6):94-97. (in Chinese)
- [12] Bavec F, Bavec M. Effect of maize plant double row spacing on nutrient uptake, leaf area index and yield [J]. Rost Vyroba, 2001, 47:135-140.
- [13] 刘占东,肖俊夫,南纪琴,等. 种植密度对夏玉米形态指标、耗水量及产量的影响 [J]. 节水灌溉,2010(9):8-10.
Liu Z D, Xiao J F, Nan J Q, et al. Effect of different planting density on morphological index, water consumption and yield of summer maize [J]. Water Saving Irrigation, 2010(9):8-10. (in Chinese)
- [14] 潘占兵,李生宝,郭永忠,等. 不同种植密度人工柠条林对土壤水分的影响 [J]. 水土保持研究,2004,11(3):265-267.
Pan Z B, Li S B, Guo Y Z, et al. Effect of planting density of *Caragana intermedia* on soil moisture [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2004, 11(3):265-267. (in Chinese)
- [15] 舒维花,蒋 齐,王占军,等. 宁夏盐池沙地不同密度人工柠条林土壤水分时空变化分析 [J]. 干旱区资源与环境,2012,26(12):172-176.

Shu W H, Jiang Q, Wang Z J, et al. The temporal and spatial changes of soil moisture in different density of *Caragana korshinskii* in sandy land of Yanchi, Ningxia [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2012, 26(12): 172-176. (in Chinese)

[16] 陈光荣, 高世铭, 张国宏, 等. 种植方式与密度对旱作大豆产量和水分利用效率的影响 [J]. 灌溉排水学报, 2010, 29(5): 39-41.

Chen G R, Gao S M, Zhang G H, et al. The influence of different planting patterns and density on soybean water use efficiency and grain yield [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2010, 29(5): 39-41. (in Chinese)

[17] 李 明, 李文雄. 肥料和密度对寒地高产玉米库源性状及产量的调节作用 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1130-1137.

Li M, Li W X. Regulation of fertilizer and density on sink and source traits and yield of maize [J]. Sci Agric Sin, 2004, 37(8): 1130-1137. (in Chinese)

[18] 沈绣瑛, 戴俊英, 胡安畅, 等. 玉米群体冠层特征与光截获及产量关系的研究 [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 populations (*Zea mays* L.) [J]. Acta Agron Sin, 1993, 19(3): 246-252. (in Chinese)

[19] 杨吉顺, 高辉远, 刘 鹏, 等. 种植密度和行距配置对超高产夏玉米群体光合特性的影响 [J]. 作物学报, 2010, 36(7): 1226-1233.

Yang J S, Gao H Y, Liu P, et al. Effects of planting density and row spacing on canopy apparent photosynthesis of high-yield summer corn [J]. Acta Agron Sin, 2010, 36(7): 1226-1233. (in Chinese)

[20] 宋振伟, 齐 华, 张振平, 等. 春玉米中单 909 农艺性状和产量对密植的响应及其在东北不同区域的差异 [J]. 作物学报, 2012, 38(12): 2267-2277.

Song Z W, Qi H, Zhang Z P, et al. Effects of plant density on agronomic traits and yield in spring maize Zhongdan 909 and their regional differences in northeast China [J]. Acta Agron Sin, 2012, 38(12): 2267-2277. (in Chinese)

[21] 梁计南, 罗国兴. 黄麻高产栽培理论研究: 种植密度与群体光合性状及干物质生产 [J]. 华南农学院学报, 1982, 3(2): 1-12.

Liang J N, Luo G X. Theorization of the factors affecting high yield in jute culture; Planting density and its effect upon dry matter accumulation and photosynthetic behavior in the plant population [J]. Journal of South China Agricultural College, 1982, 3(2): 1-12. (in Chinese)

[22] 侯玉虹, 陈传永, 郭志强, 等. 作物高产群体干物质积累动态模型的构建及生长特性分析 [J]. 玉米科学, 2008, 16(6): 90-95.

Hou Y H, Chen C Y, Guo Z Q, et al. Establishment of dry matter accumulation dynamic simulation model and analysis of growth characteristic for high-yield population of spring maize [J]. Journal of Maize Sci, 2008, 16(6): 90-95. (in Chinese)

[23] 李向岭, 赵 明, 李从锋, 等. 播期和密度对玉米干物质积累动态的影响及其模型的建立 [J]. 作物学报, 2010, 36(12): 2143-2153.

Li X L, Zhao M, Li C F, et al. Effect of sowing-date and planting density on dry matter accumulation dynamic and establishment of its simulated model in maize [J]. Acta Agron Sin, 2010, 36(12): 2143-2153. (in Chinese)

[24] 吕丽华, 董志强, 曹洁璇, 等. 播期、收获期对玉米物质生产及光能利用的调控效应 [J]. 华北农学报, 2013, 28(增刊): 177-183.

Lü L H, Dong Z Q, Cao J X, et al. Effects of planting and harvest date on matter production of summer maize and its utilization of solar and heat resource [J]. Journal of North China Agricultural College, 2013, 28(S): 177-183. (in Chinese)

[25] 崔晓朋, 郭家选, 刘秀位, 等. 不同种植模式对夏玉米光能利用率和产量的影响 [J]. 华北农学报, 2013, 28(5): 231-238.

Cui X P, Guo J X, Liu X W, et al. Effects of different planting patterns on radiation use efficiency and yield of summer maize [J]. Journal of North China Agricultural College, 2013, 28(5): 231-238. (in Chinese)

[26] 程在全, 宋令荣, 陈 利, 等. 滇中高原高产玉米群体光合作用及光能利用率的特点 [J]. 南京农业大学学报, 1994, 17(4): 1-6.

Cheng Z Q, Song L R, Chen L, et al. Characteristics of photosynthesis and percentage of solar energy utilization rate of high-yield maize population in middle Yunnan Plateau [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 1994, 17(4): 1-6. (in Chinese)

[27] 唐建华, 张卫健, 王延波, 等. 密度对耐密性不同玉米品种群体冠层结构的影响 [J]. 作物杂志, 2013(2): 126-129.

Tang J H, Zhang W J, Wang Y B, et al. Effects of density on different varieties of maize population canopy structure [J]. Crops, 2013(2): 126-129. (in Chinese)

[28] Vega C R C, Andrade F H, Sadras V O, et al. Seed number as a function of growth: A comparative study in soybean, sunflower and maize [J]. Crop Sci, 2001, 41: 748-754.

[29] 胡巍巍, 赵会杰, 李洪岐, 等. 种植密度对夏玉米冠层光合特性的影响 [J]. 河南农业科学, 2013, 42(1): 23-27.

Hu W W, Zhao H J, Li H Q, et al. Effect of planting density on canopy photosynthesis of summer maize [J]. Journal of Henan Agricultural Sci, 2013, 42(1): 23-27. (in Chinese)

[30] 谢 飞, 魏 慧, 张 凯, 等. 间作时期和种植密度对甜瓜/向日葵间作系统光能利用效率的影响 [J]. 中国沙漠, 2015, 35(3): 1-6.

Xie F, Wei H, Zhang K, et al. Effects of intercropping time and planting density on solar energy utilization efficiency of melon/sunflower intercropping system [J]. Journal of Desert Research, 2015, 35(3): 1-6. (in Chinese)