

种植模式与施磷深度对蚕豆群体冠层结构及其产量的影响

邵 扬, 郭延平, 马玉华, 何小琴, 范建祥, 马 斌

(临夏州农业科学研究院, 甘肃 临夏 731100)

摘 要: 在小区试验与大田生产试验条件下, 采用三个种植密度(12 000 株·667m⁻², 13 000 株·667m⁻², 14 000 株·667m⁻²)、两个留苗方式(一穴单株, 一穴双株)及三个施磷深度(10 cm, 15 cm, 20 cm)处理, 通过裂区试验研究了高产蚕豆群体冠层结构指标及其对产量的影响, 结果表明, 13 000 株·667m⁻²、15 cm 施磷深度、双株三角留苗种植模式下, 盛花期蚕豆群体叶面积指数、叶绿素 SPAD 值, 主根长均维持在较高水平, 冠层结构较优, 产量最高, 达到 275.2 kg·667m⁻²; 生产试验显示, “一穴双株”能有效提高蚕豆结荚率, 提高产量, 较常规栽培增产 14% 以上。提出以“深松增密, 减穴加距, 中层施磷”为主要内容的蚕豆高产栽培技术。

关键词: 蚕豆; 冠层结构; 种植模式; 施磷深度; 产量

中图分类号: S529 **文献标志码:** A

Effect of different crop systems and phosphorus placement depth on the canopy structure and production of faba bean

SHAO Yang, GUO Yan-ping, MA Yu-hua, HE Xiao-qin, FAN Jian-xiang, MA Bin
(Linxia Academy of Agricultural Sciences, Linxia, Gansu 731100, China)

Abstract: Effect of crop systems and phosphorus placement on the canopy structure and production of faba bean were studied using plot and field experiments of three population densities (12 000 plants·667m⁻², 13 000 plants·667m⁻², 14 000 plants·667m⁻²), two patterns of seeding (plant per spot, 2 plants per spot) and three phosphorus placement depths (5 m, 10 cm, and 20 cm). The results showed that high yield were obtained under 15cm phosphorus depth, 1.3 × 10⁴ plants·667m⁻² and wide-narrow row with 2 plants per spot. Under this pattern, leaf area index, chlorophyll SPAD value and taproot length remained higher until flowering. Increasing plant spacing by decreasing unit area increased pod retention rate and yield, with the treatment yield being higher.

Keywords: faba bean; canopy instruction; crop systems; phosphorus depth; yield

蚕豆是我国主要的杂粮作物之一, 其独特的养地效果在北方农牧交错地带农业生产中发挥着重要作用, 一直受到蚕豆研究者的重视。蚕豆产量是指在群体条件下所获得的产量。研究发现, 作物产量的形成主要来自叶片的光合作用积累, 其生产力的形成受群体冠层结构的影响^[1], 因此构建高效的作物群体冠层结构, 有利于群体对光能利用和群体的通风透光, 对高产具有重要作用^[2], 作物生产中常通过种植方式的改变调节株型等改善群体冠层结构, 提高群体产量^[3]。王俊秀^[4]等研究高产玉米群体时发现叶面积指数大、叶片功能期长、叶倾角小、株型

紧凑是构建高效群体的重要因素, 群体冠层合理, 产量较高。

磷作为作物生长的重要元素, 对根系生长发育和形态有重要影响^[5-8]。研究发现, 较多的磷肥能促进蚕豆结瘤并保持较高固氮酶活性; 大豆中研究发现, 磷肥能增加根瘤数目, 植株固氮能力较强^[9-11]。

蚕豆是全冠层具有生产力的作物, 盛花期是群体最郁蔽的时期, 此时期冠层结构对结荚有显著的影响, 也是产量形成的关键时期。调查发现, 当前蚕豆生产中种植密度偏小, 耕层过浅, 土壤紧实, 浅层

收稿日期: 2016-05-16

修回日期: 2017-03-05

基金项目: 临夏州科技计划支撑项目(2013-N-2-002, 2015-N-5-001); 现代农业产业技术体系资金支持(CARS-09-Z23)

作者简介: 邵 扬(1987—), 男, 甘肃会宁人, 硕士, 助理研究员, 从事蚕豆育种与高产高效栽培工作。E-mail: shaoyang1201@163.com。

通信作者: 郭延平(1964—), 男, 甘肃临夏人, 副研究员, 主要从事蚕豆育种与栽培工作。E-mail: lxzgy@163.com。

施磷等粗放耕作是影响高效群体冠层结构、限制产量的重要因素,本文旨在研究不同种植方式与施磷深度条件下,盛花期蚕豆群体冠层结构指标的变化规律,为构建蚕豆高效冠层结构、提高群体产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验在总结蚕豆栽培技术的基础上,2015年在曾家村试验田开展小区试验,在和政县买家集镇,临夏县掌子沟乡,康乐县八松乡开展多点生产试验。试验田地平整,肥力均匀,土壤类型为黄壤土。试验地0~20 cm土层pH值7.8,含碱解氮55.2~93 mg·kg⁻¹,有机质1.33%~1.76%,速效磷70.2~73.3 mg·kg⁻¹,速效钾112~154 mg·kg⁻¹;供试品种为临夏州农科院选育的蚕豆品种临蚕6号,该品种生育期125 d左右,株高100~150 cm,浅紫花,椭圆叶,无限结荚习性,耐根腐病,抗叶部病害,适宜在甘肃、青海、四川等春蚕豆主产区种植。

1.2 试验设计

试验为宽窄行种植,宽行距40 cm,窄行距20 cm,采用裂区设计,主区种植密度分别为:12 000株·667m⁻²,13 000株·667m⁻²,14 000株·667m⁻²,分别用A1,A2,A3表示;副区留苗方式分别为:一穴单株留苗(每穴一株,同一密度处理每行株距相同),一穴双株三角留苗(每穴两株,同一穴内两株株距小于1.5 cm,每两行间穴距采用三角形种植),分别用B1,B2表示;副副区为施磷深度,分别为10 cm、15 cm、20 cm,分别用C1、C2、C3表示。每小区种植10行,小区长5 m,宽3 m;A1~A3处理,株距依次为13.9、12.8、11.9 cm;双株留苗处理时穴距在单株穴距基础上依次加倍,即为27.8、25.6、23.8 cm。共18个处理,重复3次。施肥及其它田间管理同一般高产田。生产试验按照15 cm深度施磷,一穴双株三角留苗种植,对照为农户常规种植方法(等行距单株留苗,地表撒施磷肥)。种植示意图如图1所示。

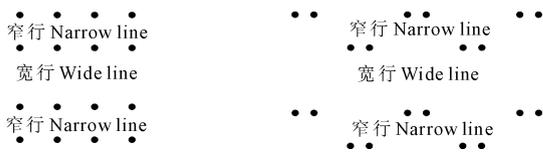


图1 种植示意图

Fig.1 Schematic presentation of field experiment treatments

1.3 测定指标与方法

1.3.1 叶面积指数 采用纸样称重法测定,叶面积指数(LAI) = 单位土地上的总叶面积/单位土地面积。

1.3.2 叶绿素 SPAD 值 叶绿素 SPAD 值采用 SPAD502 叶绿素测定仪测定,在盛花期选取具有代表性植株5株,分别测定其中、上、下部叶片叶绿素 SPAD 值,取其平均数。

1.3.3 主根长 每小区挑选长势一致,有代表性的植株5株,测定其主根长度,取其平均数。

1.3.4 冠层结构 冠层结构指标采用 TOP-1300 植物数字式冠层结构分析仪测定,测定时期为盛花期。每处理选取4点,宽窄行包括2个宽行点和2个窄行点,选择阴天或多云天气于早晨或傍晚测定,以减少太阳光的干扰。将安装有鱼眼探头的观测棒分别定点在行间和株间中央,距地表约1 cm,调整水平,从计算机显示屏上观察,当无人影等其它外界影响时开始拍照。通过计算机进行图像数字化处理,得到平均叶簇倾斜角度(mean leaf inclination angle,MLIA)、消光系数(extinction coefficient,EC)、散射辐射透过系数(transmission coefficient for diffuse penetration,TCDP)等参数,取4点的平均值作为该处理冠层结构特征参数结果。

1.3.5 考种及测产 收获时,每小区挑选5株代表性的植株,测定株高、始荚高度、始荚节数、单株结荚数、荚粒数、产量。

1.4 数据处理与分析

文中所有图表均采用 Excel 制作,数据分析采用 Excel 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同群体叶面积指数的变化

图2所示,叶面积指数随着施磷深度的增加出现先增后降的趋势。同一施磷深度下,叶面积指数随着密度的增大而增大,留苗方式上表现为一穴双株三角留苗大于一穴单株留苗,C2A2B2种植模式下叶面积指数最大,达到0.79。方差分析表明,叶面积指数在施磷深度上差异显著。由此说明,中层施磷条件下,采用双株三角留苗能有效增加群体叶面积指数,在蚕豆生育关键时期,蚕豆群体保持较大叶面积指数,增加光合源,这对增加群体光合同化物质积累,增加群体产量具有重要意义。

2.2 不同群体叶绿素 SPAD 值的变化

图3所示,叶绿素 SPAD 值随着施磷深度的增加出现先增加后降低的趋势,同一深度下,随着密度增大而减小,留苗方式上表现为双株三角留苗大于一穴单株留苗。方差分析表明,C1处理与C2、C3处理差异显著,C2与C3处理间差异不显著,密度间差异在0.05水平上差异显著。由此说明,通过密度、施磷深度与留苗方式的调节可有效改变群体叶片叶绿素

SPAD 值,通过种植方式与施磷深度的调节,能够延长蚕豆群体叶片保绿期,延缓植株叶片衰老,延长叶片光合时间,在蚕豆获得高产的过程中有较大的意义。

2.3 不同群体主根长的变化

图 4 所示,同一施磷深度下,随着密度的增加,主根长表现为增加的趋势,同一密度种植条件下,随着施磷深度的增加主根长表现为先增加后递减的趋势,留苗方式上表现为双株三角留苗大于单株留苗,各个处理条件下,C2A2B2 种植模式下主根长最长,达到 26.5 cm;方差分析表明根长在施磷深度上差异显著,其它处理差异不显著。由此说明,在 15 cm 施磷深度下能显著增加蚕豆群体主根长,群体根系较发达,能够有效提高群体对养分的吸收能力,提高蚕豆群体养分利用效率,是蚕豆群体获得高产的重要

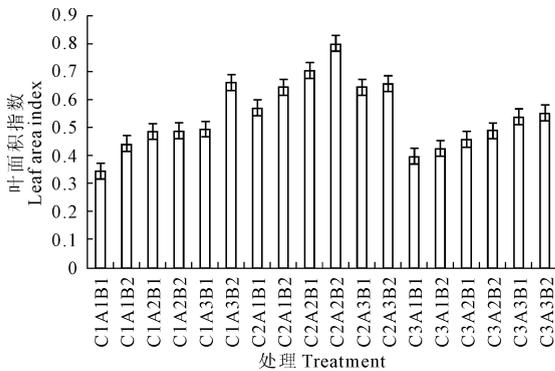


图 2 不同群体叶面积指数的变化

Fig. 2 The change of leaf area index in different populations

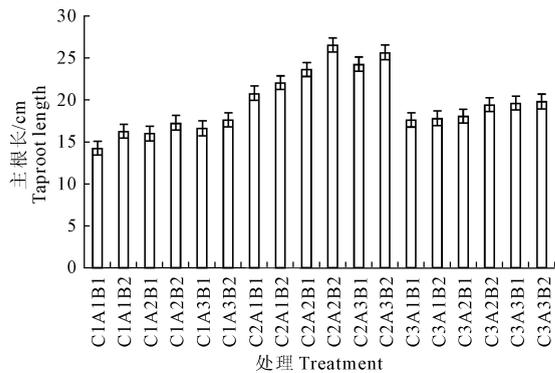


图 4 不同群体主根长的变化

Fig. 4 The change of taproot length in different populations

2.4.2 不同群体散射辐射透过系数的变化 图 6 所示,散射辐射透过系数随着施磷深度的增加减小,留苗方式上表现为单株留苗大于双株三角留苗。说明高密度能使群体叶片截获更多的光能而避免漏光损失,有助于叶片的光合作用。群体散射辐射系数表明宽窄行双株种植虽然造成了漏光损失,但可以改善中、下部叶片受光环境,能够有效解决中、下部叶片因光饥饿而造成的早衰,有效延长了中、下部叶

保证。

2.4 不同群体冠层指标的变化

2.4.1 不同群体平均叶簇倾斜角的变化 图 5 所示,平均叶簇倾角在施磷深度、密度上表现为先增加后降低的趋势,同一深度下,留苗方式上表现为单株留苗大于双株三角留苗。方差分析表明,平均叶倾角在施磷深度上差异显著。这种变化说明,双株三角留苗对冠层太阳光辐射的削弱能力比单株留苗弱,造成漏光损失,但可以改善后期群体的受光环境,在 15 cm 施磷深度下植株生长旺盛,平均叶倾角较大,能够截获更多太阳能,提高单位土地面积光能的利用率,增加光合同化物质积累,对提高群体产量具有重要意义。

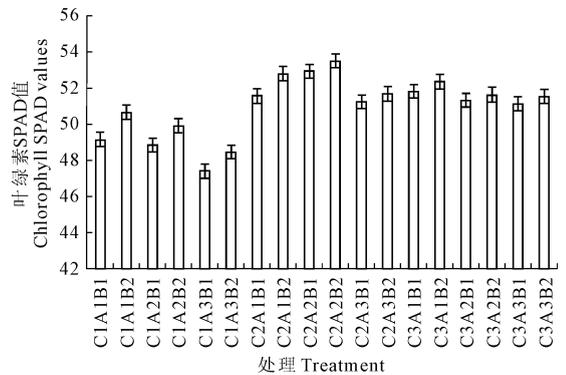


图 3 不同群体叶绿素 SPAD 值的变化

Fig. 3 The change of chlorophyll SPAD values in different populations

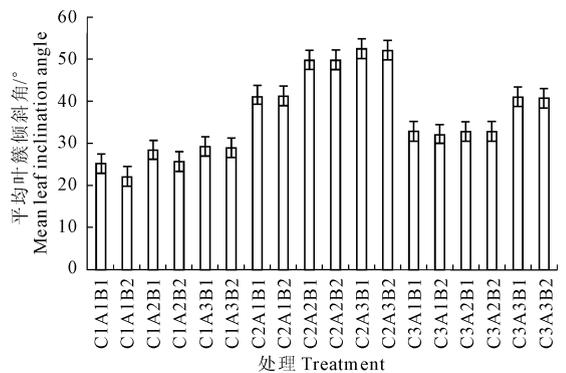


图 5 不同群体平均叶簇倾斜角的变化

Fig. 5 The change of mean leaf inclination angle in different populations

片的功能期,在高密度下采用宽窄行双株留苗种植对蚕豆高产栽培具有重要意义。

2.4.3 不同群体消光系数的变化 由表 1 可知,群体消光系数随在天顶角 $7.5^\circ \sim 67.5^\circ$ 内随天顶角的增加呈增加的趋势。各处理群体消光系数在天顶角 $7.5^\circ \sim 67.5^\circ$ 范围内表现为随着种植密度、施磷深度的增加呈逐渐增大的趋势。由此说明,随着密度的增大,叶片互相遮荫,对光照削弱能力强。这说明随

随着种植密度的增加群体冠层对光能的截获率逐渐增加。一穴单株的截获率大于一穴双株栽培。说明宽窄行双株不利于冠层对光的截获,但这可以使冠层结构疏朗,中、下层光照条件得到改善,更有利于蚕豆植株生长,在高密度栽培中具有重要意义。

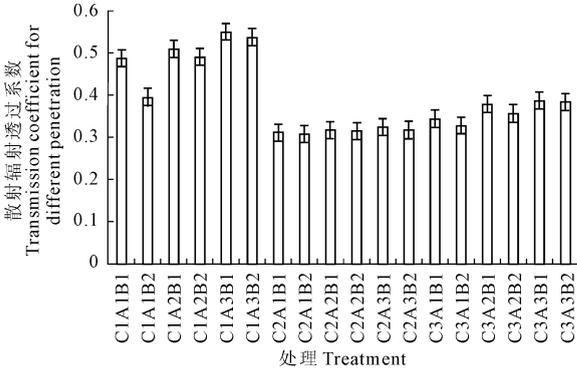


图6 不同群体散射辐射透过系数的变化

Fig.6 The change of transmission coefficient of different populations

表1 不同群体天顶角的变化

Table 1 The change of zenith angle in different populations

处理 Treatment	天顶角 Zenith angle/°					
	7.5	22.5	37.5	52.5	67.5	
C1	A1B1	0.37c	0.47b	0.61c	0.85b	1.38a
	A1B2	0.31c	0.39b	0.54c	0.82b	1.44a
	A2B1	0.58b	0.61b	0.70b	0.85b	1.25a
	A2B2	0.58b	0.61b	0.68b	0.83b	1.25a
	A3B1	0.68b	0.70ab	0.75b	0.87b	1.18ab
	A3B2	0.67b	0.70ab	0.75b	0.87b	1.19ab
C2	A1B1	0.80a	0.81a	0.84a	0.91a	1.11ab
	A1B2	0.81a	0.81a	0.84a	0.90a	1.09ab
	A2B1	0.83a	0.84a	0.86a	0.92a	1.08ab
	A2B2	0.80a	0.82a	0.84a	0.91a	1.10ab
	A3B1	0.86a	0.87a	0.89a	0.93a	1.06b
	A3B2	0.84a	0.85a	0.87a	0.92a	1.08b
C3	A1B1	0.71ab	0.72ab	0.76ab	0.86ab	1.15ab
	A1B2	0.69b	0.70ab	0.75ab	0.87ab	1.18ab
	A2B1	0.75ab	0.77ab	0.81a	0.90a	1.13ab
	A2B2	0.76ab	0.77ab	0.80a	0.88ab	1.12ab
	A3B1	0.76ab	0.78ab	0.81a	0.91a	1.14ab
	A3B2	0.78ab	0.79ab	0.82a	0.89ab	1.10ab

注:不同小写字母表示在0.05水平上差异显著,下同。

Note: The different small letters indicate the significant difference at 5% level, the same as below.

2.5 不同群体产量及其构成因素的变化

由表2可知,随着密度的增加,株高、始荚高度、始荚节数逐渐增大,留苗方式上表现为双株留苗小于单株留苗,同一种植密度下,施磷深度上表现为随着施磷深度的增加先增加后降低;单株结荚数、荚粒数表现为随着密度的增加逐渐降低,同一施磷深度下,双株留苗大于单株留苗,产量结果表明,随着

密度的增加先增后降,这与单株结荚数、荚粒数表现不一致,这说明适当增加密度时,群体的增加对产量的贡献大于个体产量增加对群体产量的贡献,试验结果显示在A2密度下C2处理产量最高,达到 $275.2 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 。

2.6 多点生产试验结果

表3表明,通过15 cm深度施磷,一穴双株三角留苗种植,较农户常规种植明显增产,三点平均产量达到 $4559 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,较对照平均增产14.5%,由此说明,通过中层施磷,一穴双株三角留苗处理能有效增加群体产量,是蚕豆高产高效栽培的重要技术途径。

3 讨论

合理的群体冠层结构和较高的叶面积指数是提高光能利用率,获得高产的重要条件^[12],研究发现,通过密度、种植方式的调节,构建群体高效冠层,在作物产量形成的关键时期保持较高的生产效率是群体高产的基础^[13-15]。本试验表明,在 $13000 \text{ 株} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 、15 cm施磷深度、双株三角留苗种植模式下,盛花期蚕豆群体叶面积指数、叶绿素SPAD值,主根长均维持在较高水平,产量最高,这种变化与玉米等作物中的研究结果一致^[16-17],说明在此处理条件下,蚕豆群体冠层结构合理,有较高的群体生产效率。平均叶簇倾斜角在C2处理下较大,可能是蚕豆群体能捕获更多光能以及群体生长旺盛和植株自我调节的结果,这与王俊秀^[4]在高产玉米群体中研究的结果有出入;张瑜等^[18]通过磷胁迫蚕豆试验研究发现,低磷胁迫导致蚕豆根半径减小,根长增加,但本试验研究发现中层施磷条件下,蚕豆根长增加,说明磷肥与根接触紧密,能促进蚕豆根系生长,试验中主根长变化与其研究结果有出入;本试验研究春蚕豆不同密度、施磷方式及留苗方式对群体冠层结构及产量的影响,通过调查、小区试验及多点生产试验表明, $13000 \text{ 株} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 、15 cm施磷深度、双株三角留苗种植模式下,盛花期蚕豆群体叶面积指数、叶绿素SPAD值,主根长均维持在较高水平,冠层结构较优,产量最高,达到 $275.2 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$;生产试验显示,“一穴双株”能有效提高蚕豆结荚率,提高产量,较常规栽培增产14%以上。总结出“深松增密,减穴加距,中层施磷”是蚕豆高产高效栽培的主要技术手段,发现春蚕豆在高密度条件下,双株三角留苗处理虽然造成漏光损失,但增加了群体的通风透光能力,提出在蚕豆生产中,通过“深松增密、减穴加距、中层施磷”等手段调节群体冠层结构,是蚕豆高产群体构建的重要途径,对蚕豆高产高效栽培具有重要意义。因此,在国家提出“改玉米连作为粮豆

表 2 不同群体产量及其构成因素的变化

Table 2 Yield and yield components for different populations

处理 Treatment	株高/cm Height	始荚高度/cm Beginning of pod height	始荚节数/节 Beginning of pod number	单株结荚数/个 Podding number	荚粒数/粒 Pod grain number	产量 /(kg·667m ⁻²) Yield	
C1	A1B1	115.6ab	19.2ab	4.6a	12.4ab	22.6ab	225.1b
	A1B2	111.8ab	18.6ab	4.4a	12.8ab	26.6ab	230.2b
	A2B1	126.6ab	21.2ab	4.4a	11.4ab	20.6ab	236.1b
	A2B2	126.0ab	21.0ab	4.4a	11.8ab	24.0ab	239.2b
	A3B1	122.8ab	20.6ab	4.8a	9.8ab	19.2ab	220.3b
	A3B2	118.2ab	20.0ab	5.0a	10.0ab	19.4b	221.3b
C2	A1B1	127.6ab	23.2ab	5.2a	16.4a	21.0b	240.1b
	A1B2	127.4ab	22.0ab	5.4a	19.4a	23.8a	245.0ab
	A2B1	133.0a	25.0ab	5.2a	14.0a	24.2a	260.0a
	A2B2	130.8a	23.8ab	5.8a	14.0a	28.2a	275.2a
	A3B1	130.6a	23.6ab	5.4a	13.0a	21.0b	250.0ab
	A3B2	128.0a	23.4ab	4.8a	13.4a	27.2b	249.0ab
C3	A1B1	137.2a	26.0ab	5.5a	8.4b	16.8b	232.0ab
	A1B2	133.8a	25.6ab	5.6a	9.6b	18.4b	231.2ab
	A2B1	148.3a	32.6a	4.8a	8.2b	14.0b	246.3ab
	A2B2	145.6a	31.8a	6.8a	8.4b	17.8b	248.0ab
	A3B1	143.4a	27.4ab	5.2a	7.4b	13.6b	224.1ab
	A3B2	138.4a	27.4ab	5.4a	7.6b	13.2b	235.0ab

表 3 生产试验结果

Table 3 The result of on-farm demonstration

地点 Site	面积/hm ² Area	试验产量 /(kg·hm ⁻²) Experiment yield	对照产量 /(kg·hm ⁻²) Control yield	增产/% Increase of yield
和政县买家集镇 Maijiayi town, Hezheng County	5.2	4524	4043	11.9
临夏县掌子沟乡 Zhangzigou town, Linxia County	7.5	4467	3930	13.7
康乐县八松乡 Basong town, Kangle County	2.3	4685	3978	17.8
平均 Average		4559	3984	14.5

轮作^[19]”的背景下,增强蚕豆高产高效栽培理论研究对轮茬养地、取得蚕豆在高寒山区农牧交错地带高产、稳产具有十分重要的作用,但本研究是在调查的基础上,通过一年的小区试验与多点生产试验中得出的结论,今后对蚕豆群体高产高效冠层构建还需要进行进一步验证。

参考文献:

- [1] 郑丕尧. 作物生理学导论[M]. 北京:北京农业大学出版社, 1992.
- [2] 王永锐. 作物高产群体生理[M]. 北京:科学技术文献出版社, 1991.
- [3] Maddonni G A, Otegui M E, Cirilo A G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation[J]. Field Crops Res, 2001, 71: 183-193.
- [4] 王俊秀, 高聚林, 王志刚, 等. 不同覆膜方式对春玉米超高产群

- 体冠层垂直结构的影响[J]. 玉米科学, 2009, 17(6): 63-67.
- [5] Mackay A D, Barber S A. Soil temperature effects on root growth and phosphorus up take by corn[J]. Soil Sci Soc Am J, 1984, 48: 818-823.
- [6] Chassot A, Richner W. Root characteristics and phosphorus uptake of maize seedlings in a Bilayered soil[J]. Agron J, 2002, 94: 118-127.
- [7] 廖红, 戈振扬, 严小龙, 等. 水磷耦合胁迫下植物磷吸收的理想根构型: 模拟与应用[J]. 科学通报, 2001, 46(8): 641-646.
- [8] 王荣辉, 王朝辉, 李生秀, 等. 施磷量对旱地小麦氮磷钾和干物质积累及产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(1): 115-121.
- [9] 刘丽君, 孙聪妹. 氮肥对大豆结瘤及叶片氮素积累的影响[J]. 东北农业大学学报, 2005, 36(2): 133-137.
- [10] 刁治民, 李锦萍, 马寿福, 等. 青海蚕豆根瘤菌共生固氮效应的研究[J]. 青海师范大学学报, 2002, (1): 55-59.
- [11] Sangina N. Role of biological nitrogen fixation in legume based cropping systems: a case study of West Africa farming systems[J]. Plant and Soil, 2003, 252: 25-39.
- [12] 董振国. 农田作物层环境生态[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994.
- [13] 章建新, 翟云龙, 薛丽华, 等. 密度对高产春大豆生长动态及干物质积累分配的影响[J]. 大豆科学, 2006, 25(1): 1-5.
- [14] Wells R, Burton J W, Kilen T C. Soybean growth and light interception to differing leaf and stem morphology[J]. Crop Sci, 1993, 33: 520-524.
- [15] 郭江, 肖凯, 郭新宇, 等. 玉米冠层结构、光分布和光合作用研究综述[J]. 玉米科学, 2005, 13(2): 55-59.
- [16] 靳立斌, 张吉旺, 李波, 等. 高产高效夏玉米的冠层结构及其光合特性[J]. 中国农业科学, 2013, 46(12): 2430-2439.
- [17] 郭金瑞, 边秀芝, 闫孝贡, 等. 吉林省玉米高产高效生产土壤调控技术研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(4): 140-142, 146.
- [18] 张瑜, 刘海涛, 周亚平, 等. 田间玉米和蚕豆对低磷胁迫响应的差异比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(4): 911-919.
- [19] 张颖达. 东北四省区明年调减玉米种植面积[J]. 农机研究, 2015, (7): 4.