

株型调控对夏玉米冠层结构及生理性状的影响

黄收兵¹ 徐丽娜¹ 陶洪斌¹ 董志强² 王璞^{1*}

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193;

2. 中国农业科学院 作物科学研究所, 北京 100081)

摘要 以紧凑型玉米品种郑单 958 为材料,以“金得乐”化控试剂为调控株型的手段,在紧凑型的基础上进一步优化玉米的株型,挖掘玉米的增产潜力。试验设为 3 个密度:60 000、75 000 和 90 000 株/hm²,每个密度下设置相同的化控处理:T(6+12) 6、12 叶展期分别叶面喷施 2.25 和 1.5 mL/L “金得乐”(EC)试剂;T(6+8) 6、8 叶展期分别叶面喷施 1.5 mL/L EC 试剂;CK 对照不喷施。结果表明:在不同的密度下存在着不同的理想株型。中低密度下较为理想的株型为穗位低(占株高的 40%),穗位层短即棒三叶叶间距小(占株高的 17%),穗位层叶面积大(占整株叶面积的 29%),穗上层叶片紧凑,叶间距大。高密度下较为理想株型为穗位低(占株高 35%),穗下叶面积大(占整株叶面积的 47%),穗位及穗上叶片紧凑,穗位叶面积较小(占整株叶面积的 26%)、穗位及穗上叶间距大。

关键词 夏玉米; 化学调控; 密度; 株型; 冠层结构

中图分类号 S 513

文章编号 1007-4333(2012)01-0040-06

文献标志码 A

Effect of plant type regulation on canopy structure and physiology of summer maize

HUANG Shou-bing¹, XU Li-na¹, TAO Hong-bin¹, DONG Zhi-qiang², WANG Pu^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

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

Abstract The aim of this study was to improve canopy structure of compact type maize under high plant population density, and explore summer maize yield potential, by using compact maize hybrid Zhengdan958, and plant growth regulator JinDeLe. The same three treatments were conducted under three planting densities (60 000, 75 000 and 90 000 plants/hm²) which were spraying 2.25 mL/LEC at the 6th-leaf stage and spraying 1.5 mL/L EC at 12th-leaf stage named T(6+12), spraying 1.5 mL/L^EC at the 6th-leaf stage and 8th-leaf stage, respectively, named T(6+8), no spraying as control named CK. Our preliminary view in this study is that different ideal plant types exist within different densities. The character of ideal plant type in middle and low density contains that the ear height is low (40% of plant height), the length of ear layer (which is the addition of three joint length, the ear joint length, the first joint length above ear, and the first joint length below ear) is short (17% of plant height), the leaf area of ear layer is large (29% of total leaf area), and the structure above ear is compact. Under high density, the character is that the ear height is 35% of plant height, leaf area below ear is 42% of plant leaf area, the leaves of both the ear layer and the layer above ear are compact, and the leaf area of ear layer is 26% of plant leaf area.

Key words summer maize; chemical regulation; density; plant type; canopy structure

收稿日期: 2011-06-11

基金项目: 国家“973”计划项目(2009CB118602); 国家玉米产业技术体系项目(CARS-02)

第一作者: 黄收兵, 硕士研究生, E-mail: huangshoubing@163.com

通讯作者: 王璞, 教授, 博士生导师, 主要从事作物高产与资源高效利用研究, E-mail: wangpu@cau.edu.cn

作物群体的受光能力和内部光分布特征影响其光合作用,株型是影响作物群体光分布与光合特性的重要因素^[1]。Donald 最早提出了玉米的理想株型(Ideal-type)概念,在我国玉米栽培品种的株型多划分为紧凑型、半紧凑型、平展型 3 种^[2]。其中紧凑型在高密度下表现较为理想^[3]。株型增产的主要原因与其群体光分布特性较优有关^[4]。随着密度的进一步增加,紧凑型株型表现出一些不利的方面,如底层受光不足,衰老过早,穗位过高、易倒伏等。因此,在紧凑型株型的基础上,进一步优化株型对提高玉米产量具有重要的意义。

化控作为调节作物生长的手段越来越受到重视,如“金得乐”、“玉黄金”、“乙烯利”等在株高、穗位高、叶面积、叶间距、透光率等方面有显著的调节效果。“金得乐(EC)”是中国农科院开发的植物生长调节剂,在矮化株高、降低穗位、塑造株型、改善群体光照条件等方面具有良好的使用效果^[5]。前人对夏玉米株型的研究多集中在品种^[6]、密度^[3]、肥料^[7]等方面,以化控为手段塑造株型的研究较少。本研究以“金得乐”为化控供试药剂,在不同的密度下通过不同的喷施时期和喷施量塑造不同的株型,以挖掘夏玉米的高产潜力。

1 材料与方 法

1.1 试验设计

试验于 2010 年在中国农业大学吴桥实验站(37°41'02"N,116°37'23"E)进行。该实验站位于黑龙港流域中部,供试土壤为壤土,0~20 cm 土层内养分含量分别为:有机质 10.1~11.9 mg/kg,全氮 0.9~1.2 mg/kg 速效磷 38.8~45.2 mg/kg,速效钾 187.3 mg/kg,碱解氮 47.4~64.4 mg/kg。

试验为 2 因素试验,密度为主因素,“金得乐”喷施时间、喷施量为副因素,裂区设计,3 次重复。供试品种为郑单 958。根据品种在当地的表現情况(60 000 株/hm² 较为理想),设置 3 个密度:60 000、75 000 和 90 000 株/hm²。每个密度下设置相同的 3 个处理:T(6+12),6 叶展期喷施 2.25 mL/L、12 叶展期喷施 1.5 mL/L EC 试剂;T(6+8),6、8 叶展期分别叶面喷施 1.5 mL/L EC 试剂;对照 CK,不喷施。小区面积为 6 m×7 m,各密度下均为等行距(60 cm)种植。

氮肥(尿素中 N)用量为 180 kg/hm²,分别与播前和大喇叭口期按 1:2 施用,基施磷肥(重过磷

酸钙中 P₂O₅)105 kg/hm²;钾肥(K₂SO₄ 中 K₂O)120 kg/hm²;锌肥(ZnSO₄)15.0 kg/hm²。6 月 24 日播种,10 月 6 日收获,全生育期 105 d。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 形态指标测定

单叶叶面积:由长宽法计算,单叶叶面积=长×宽×0.75。

株高、穗位高:在吐丝、灌浆中期测量。

冠层透光率:在每个小区选取 3 块长势均匀的群体,用冠层分析仪 LAI-2000 测量冠层透光率(DIFN),拔节期(9 叶展)、大喇叭口期(13 叶展)在底层测量,吐丝、灌浆中期在穗位层、底层测量。

1.2.2 生理指标测定

叶绿素相对含量(SPAD 值):分别在拔节期、大喇叭口期、吐丝期、灌浆中期(吐丝后 20 d)采用日本美能达公司产 SPAD-502 型叶绿素仪测量叶片叶绿素相对含量(SPAD 值),每个小区测量 5 株,每片叶测 10 点(左右各 5 点)。前 2 个时期测量植株最上 3 片展开叶,后 2 个时期测量穗位叶、穗位叶以下第 3 片叶、穗位叶以上第 3 片叶。

可溶性糖、淀粉:采用蒽酮比色法测量^[8]。

1.3 数据分析

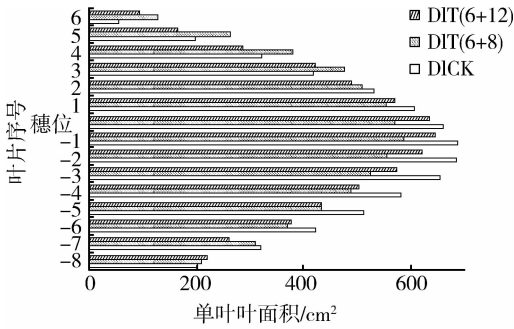
采用 SAS version 8e 软件 GLM (General Linear Model) 程序对数据进行方差分析,利用 Microsoft Excel 2007 程序进行数据的平均,标准误分析。

2 结果与分析

2.1 冠层结构

2.1.1 单株叶面积

图 1 中单株叶面积为 T(6+8)<T(6+12)<CK,随着密度增加该趋势更为显著。T(6+8)、CK 最大单叶叶面积位于穗下倒数第一、二片叶,T(6+12)最大单叶面积位于穗位叶。最大叶面积层次为 T(6+12)(穗位层)高于 CK(穗下 2 片叶)高于 T(6+8)。T(6+12)穗位层的光截获能力增强,为穗位层光合作用提供了较为充足的光源,保证了穗位层叶片物质生产能力;T(6+8)穗下层叶面积/整株叶面积比例增大为 47%,穗位层叶面积/整株叶面积比例减小为 26%,穗位层竞争减弱,穗下层叶面积较大弥补生育后期植株底层叶片的衰老带来的不利影响,能够很好地解决高密度下穗位层郁闭,穗下叶片衰老快的问题。



1、2、3……表示穗上叶片的序号，
-1、-2、-3……表示穗下叶片的序号。

图1 60 000 株/hm² 密度下单株叶面积

Fig. 1 Plant single leaf area under
60 000 plant/hm² density

2.1.2 株高、穗位高

图2中株高、穗位高T(6+12)显著小于T(6+8)、CK,但是就株高/穗位高比值而言,T(6+12)与T(6+8)接近为2.5~2.7(60 000株/hm²除外),均大于CK(其比值为2.2~2.3)。T(6+12)主要通过缩短穗位层节间长度使株高、穗位高降低,同时使穗位层叶片之间更加紧密,保证“棒三叶”有较好的受光姿态,增强穗位层的光截获能力(表1冠层透光率可反映该结果)。T(6+8)通过缩短穗下节间长度使穗位高降低。但是EC在喷施后期抑制作用减弱,T(6+8)穗上节间生长加快,株高受影响不显著,甚至在75 000株/hm²密度下超过CK。表明T(6+8)植株穗位及穗上层更为舒展,有利于光照的合理分布,同时穗下节间短、叶片之间紧密,增强了

对光照的截获能力。

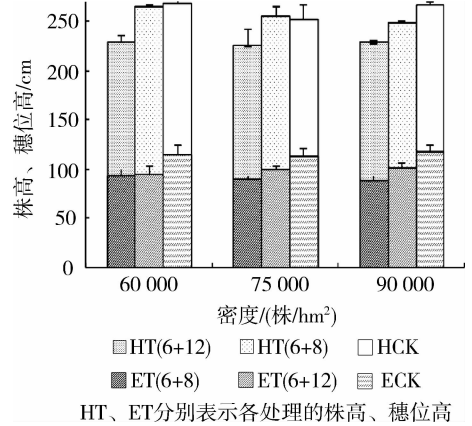


图2 吐丝期不同处理下株高、穗位高情况

Fig. 2 Plant height and ear height under different treatments at silk stage

2.1.3 冠层透光率

由表1方差分析可知,3个处理在不同密度下冠层透光率差异较为显著。其中60 000株/hm²密度下T(6+12)底层、穗位层透光率显著低于其他处理,说明T(6+12)植株群体光截获能力较强,尤其是穗位层光截获能力增强。T(6+8)底层、穗位层透光率高于显著其他处理,但是由穗位层透光率减去底层透光率可知,T(6+12)、T(6+8)、CK分别为3.2~8.2、5.1~14.7、1.2~9,表明T(6+8)底层光截获能力较强,如60 000株/hm²密度下,T(6+8)穗下层的光截获能力分别是T(6+12)和CK的2.1倍和1.6倍。

表1 不同处理下底层、穗位层透光率变化情况

Table 1 Percent transmission of bottom layer and ear layer under different treatments

密度/ (株/hm ²)	处理	底层透光率/%			穗位层透光率/%	
		大喇叭口期	吐丝期	灌浆中期	吐丝期	灌浆中期
60 000	T(6+12)	8.7 b	5.0 b	6.8 b	11.9 b	14.9 ab
	T(6+8)	10.2 a	5.7 a	8.3 a	20.4 a	17.4 a
	CK	8.9 b	5.7 a	7.3 ab	14.7 b	12.5 b
75 000	T(6+12)	6.6 a	3.1 a	5.4 a	7.3 b	9.8 ab
	T(6+8)	6.3 ab	2.9 a	5.5 a	8.0 ab	12.9 a
	CK	5.8 b	2.4 b	4.8 b	7.3 b	7.9 b
90 000	T(6+12)	3.9 b	2.2 a	3.9 a	5.4 ab	7.1 ab
	T(6+8)	4.8 a	2.0 ab	3.8 a	8.4 a	8.5 a
	CK	4.2 ab	1.8 b	3.8 a	2.9 b	6.5 b

注:同一列内同一密度标以不同字母数据间差异显著(n=3),下同。

75 000 和 90 000 株/hm² 密度下, T(6+12) 底层、穗位层透光率低于其他处理的趋势不明显, 但是 T(6+8) 穗位层透光率高于其他处理的趋势明显减弱, 底层透光率与其他处理接近。说明随着密度增加, T(6+8) 株型结构表现较好。另外, 通过 75 000 和 90 000 株/hm² 密度穗位层透光率的比较, 可知 T(6+8) 株型仍有增加密度的潜力。

2.2 生理性状

2.2.1 叶绿素相对含量(SPAD 值)

叶片叶绿素是反映作物生理活性的重要生理指标之一。SPAD 值与叶绿素含量高度正相关, 是衡量植物叶片的叶绿素的重要指标之一, 在一定程度上反映了作物光合能力的大小。在吐丝-成熟期即灌浆期, 作物光合能力的大小决定着作物产量的高

低。表 2 中, 60 000 株/hm² 密度下, T(6+12) 在吐丝期 SPAD 值低于 T(6+8)、CK, 其中穗下叶、穗位叶差异显著, 穗上叶不显著。灌浆中期 T(6+12) SPAD 值高于其他处理。说明与其他处理相比, T(6+12) 在灌浆期具有较好的生理条件进行光合作用。T(6+8) SPAD 值在吐丝期最高, 但是在灌浆中期处于较低的水平。表明 T(6+8) 在吐丝期拥有较好的光合条件, 但是在生育后期衰老较快, 不利于灌浆, 对产量增加有一定的影响。

75 000 和 90 000 株/hm² 密度下, T(6+8) 在吐丝、灌浆中期 SPAD 值均高于其他处理, T(6+12) SPAD 值处于最低水平。表明随着密度增加 T(6+8) 生理性状优于 T(6+12)、CK, 说明 T(6+8) 在高密度下表现较好, 耐密性较强。

表 2 不同处理叶片 SPAD 值

Table 2 SPAD value within different treatments

密度/ (株/hm ²)	处理	吐丝期			灌浆中期		
		穗下叶	穗位叶	穗上叶	穗下叶	穗位叶	穗上叶
60 000	T(6+12)	55.6 b	56.7 b	56.0 a	55.0 a	55.6 a	57.4 a
	T(6+8)	56.9 a	58.0 a	56.9 a	54.6 a	53.7 b	56.4 a
	CK	55.2 b	57.6 ab	56.3 a	52.8 b	55.6 a	56.8 a
75 000	T(6+12)	52.8 a	54.8 ab	53.0 b	52.0 b	52.6 b	55.8 b
	T(6+8)	53.1 a	55.2 a	54.4 a	53.1 a	56.9 a	57.0 a
	CK	51.5 b	53.9 b	53.0 b	51.2 b	53.2 b	55.6 b
90 000	T(6+12)	50.8 a	53.3 a	53.2 a	50.7 a	53.3 a	54.4 b
	T(6+8)	51.2 a	54.0 a	53.1 a	48.0 b	53.8 a	56.5 a
	CK	49.2 b	52.7 b	52.8 a	47.7 b	53.6 a	53.3 b

注：穗下叶为从穗位向下数第 3 片叶, 穗上叶为从穗位向上数第 3 片叶。

2.2.2 可溶性糖、淀粉

可溶性糖、淀粉是作物的光合产物, 反映了作物物质生产、转运、积累的能力, 以灌浆期最为重要。60 000 株/hm² 密度下, T(6+12) 茎、穗中可溶性糖的含量处于较高的水平, 穗中可溶性糖含量差异显著, 茎中淀粉含量最低, 穗中淀粉含量较高。T(6+8) 茎中可溶性糖含量在 60 000 株/hm² 密度下的 3 个处理中最低, 差异不显著, 淀粉含量最高, 差异显著; 穗中可溶性糖含量介于其他 2 个处理之间, 淀粉

含量最低(如表 3)。表明 T(6+12) 在 60 000 株/hm² 密度下物质转运能力、积累能力优于 T(6+8), 物质生产能力与 T(6+8) 接近。

75 000 和 90 000 株/hm² 密度下, T(6+8) 叶片、茎中可溶性含量, 穗中可溶性糖处于其他 2 个处理之间。茎、叶片中的淀粉含量处于较低的水平, 穗中淀粉含量处于最高水平。结果表明, 在高密度下 T(6+8) 物质生产能力和物质积累能力显著提高, 物质转运能力在 3 个处理中也处于较高的水平。

表3 灌浆中期不同处理可溶性糖、淀粉含量

Table 3 Soluble sugar and starch content within different treatments in middle-filling stage

密度/ (株/hm ²)	处理	可溶性糖/%			淀粉/%		
		茎	叶	穗	茎	叶	穗
60 000	T(6+12)	12.1 a	1.4 a	36.9 a	9.5 b	7.0 a	82.4 a
	T(6+8)	11.4 a	1.5 a	33.4 a	11.0 a	7.7 a	74.3 b
	CK	13.1 a	2.0 a	29.7 b	9.9 b	6.8 a	83.7 a
75 000	T(6+12)	10.1 a	1.2 a	33.1 a	10.0 a	7.1 a	71.9 b
	T(6+8)	11.8 a	1.3 a	31.4 a	9.4 a	6.8 a	80.3 a
	CK	11.7 a	1.4 a	29.2 b	10.5 a	6.4 a	78.3 a
90 000	T(6+12)	11.2 a	1.2 b	34.1 a	9.3 b	6.2 b	70.3 ab
	T(6+8)	11.4 a	1.6 a	34.9 a	9.6 b	6.3 b	75.9 a
	CK	11.3 a	1.3 b	35.1 a	11.7 a	7.4 a	66.9 b

3 讨论与结论

玉米的理想株型为株型紧凑、收敛,穗上叶片数偏少,且较窄短、近于上冲,有利于改善群体内部的光分布^[9]。穗下叶片近于水平方向伸展,且早期这些叶片出叶快,生长量大,能有效地截获光能^[10]。该结论与本试验结果一致。但是穗下叶片出叶早、出叶快、衰老也快,特别是在高密度下,生育后期穗下叶衰老现象更为明显^[11]。在高密度下为解决这一问题,本试验扩大穗下叶片面积,缩小叶间距即 T(6+8)株型,从而保证穗下叶片对光照的截获,使光照在群体内分配更为合理。该结论与郝梦波等人^[12]在剪叶试验中得到的底层叶片冗余的结论有些出入。在高密度条件下 T(6+8)株型是否存在叶片冗余现象,需要进一步深入研究。

Nelson 等^[13]认为,株型增产的主要原因是与其群体冠层内光的合理分布有关,特别是玉米干物质积累的重要功能叶片是中部叶片,因而上部叶片上冲,中部叶片可处于较好的光照状态下,有利于干物质的生产。但是在高密度情况下,穗位层 CO₂ 浓度、光照状态均下降,穗位层物质生产能力减弱。由于土壤中微生物的呼吸作用,底层叶片有充足的 CO₂ 供应,但是底层叶片受光条件太差,光合速率处于单位叶面积最低的水平^[1]。为解决这一问题,在本试验中降低穗下高度,使穗下叶间距更小,与土壤更加接近,充分利用底层充足的 CO₂ 资源。同时拉伸穗位及穗上的节间长度,保证穗位处于较好的

光照条件下,保证穗下叶片可获得较多的光照。较好的 CO₂ 和光照条件,可延缓穗下叶片的衰老,有利于穗下叶片干物质的生产。穗下叶片在夏玉米生育后期对籽粒的贡献率到底有多大,有待进一步量化。

前人研究发现,吐丝期到乳熟期群体叶片光合特性,特别是中上部叶片光合作用持续期直接决定籽粒产量^[14]。李少昆等人研究结果同样表明,玉米干物质积累的主要功能叶是中部叶片^[2]。刘天海等人指出,玉米叶片衰老是一个循序渐进的过程,首先衰老的是下部叶片,而后是上部叶片,最后是中部叶片^[15]。中部叶片在玉米的整个生育期中持续时间长,且夏玉米的外活动面位于中部叶片^[16],对产量的贡献大,因此,本试验以中部叶为中心调节株型,适当缩小中部叶片面积,拉伸中上部节间长如 T(6+8)处理,从而提高中部叶片的耐密性,使其更适合高密种植,有利于高密情况下产量的增加。

本研究在夏玉米紧凑型基础上进一步改善株型,证明在不同密度下存在不同的理想株型。以夏播玉米郑单 958 为例,现有株型在华北平原以 60 000~75 000 株/hm² 密度较为理想^[17],但应提高穗位层的光截获能力,保证生育后期穗位层能够获得充分的光照^[18]。但是在 90 000 株/hm² 密度下,植株间竞争加剧,叶片光合能力、物质生产能力、转运能力下降,植株底层叶片衰老加快。所以在高密度下应提高穗下叶面积的光截获能力,同时减小植株间穗位层的竞争了,使环境资源在群体中分配

更为合理^[3-4]。对于郑单 958 现有株高、穗位高来说,在高密度下应降低穗位高,提高穗位以上高度,使穗位层及底层能够得到充足的光照。在本研究中,初步确认中低密度下较为理想的株型为穗位低(占株高的 40%),穗位层短即棒三叶叶间距小(占株高的 17%),穗位层的叶面积大(占整株叶面积的 29%),穗上层叶片紧凑,叶间距大。高密度较下理想株型为穗位低(占株高 35%),穗下叶面积大(占整株叶面积的 42%),穗位及穗上叶片紧凑,穗位叶面积较小(占整株叶面积的 26%)、穗位及穗上叶间距大。

参 考 文 献

- [1] 董树亭,胡昌浩,岳寿松,等.夏玉米群体光合速率特性及其与冠层结构、生态条件的关系[J].植物生态学与地理植物学学报,1992,16(4):372-378
- [2] 李少昆,赵明,王树安.玉米株型研究综述[J].玉米科学,1995,3(4):4-7
- [3] 吕丽华,陶洪斌,王璞,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
- [4] 薛吉全,梁宗锁,马国胜,等.玉米不同株型耐密性的群体生理指标研究[J].应用生态学报,2002,13(1):55-59
- [5] 李玲.植物生长调节剂对玉米生长发育的调控效应研究.[D].北京:中国农业大学,2007,6:12-22
- [6] 杨今胜,王永军,张吉旺,等.三个超高产夏玉米品种的干物质生产及光合特性[J].作物学报,2011,37(2):355-361
- [7] 谭昌伟,王纪华,黄文江,等.不同氮素水平下夏玉米冠层光辐射特征的研究[J].南京农业大学学报,2005,28(2):12-16
- [8] 张宪政,陈凤玉,王福荣.植物生理学实验技术[M].沈阳:辽宁科学技术出版社,1994
- [9] 王元东,段民孝,邢锦丰,等.玉米理想株型育种的研究进展与展望[J].玉米科学,2008,16(3):47-50
- [10] 董树亭,高荣歧,胡昌浩,等.玉米花粒期群体光合性能与高产潜力研究[J].作物学报,1997,23(3):318-325
- [11] 刘开昌,董树亭,赵海军,等.我国玉米自交系叶片保绿性及其与产量的关系[J].作物学报,2009,35(9):1662-1671
- [12] 郝梦波.高产玉米叶片冗余研究及调查[D].泰安:山东农业大学,2009
- [13] Duncan W G, Heskech J D. Net photosynthetic rate, relative, leaf growth rate and leaf numbers of 22 races of maize growth eight temperature[J]. Crop Sci, 1968, 8: 670-674
- [14] 胡昌浩,董树亭,岳寿松,等.高产夏玉米群体光合速率与产量关系的研究[J].作物学报,1993,19(1):63-69
- [15] 刘天海,李朝海,付景,等.不同基因型玉米间作的群体质量[J].生态学报,2009,11(29):6302-6309
- [16] 王谦,陈景玲,孙治强.用 LI-2000 冠层分析仪确定作物群体外活动面高度[J].农业工程学报,2005,21(8):70-73
- [17] 李宁,翟志席,李建民,等.播期与密度组合对夏玉米群体源库关系及冠层透光率的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(5):59-964
- [18] Swiader J M, Moore A. SPAD-chlorophyll II response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumokins[J]. Plant Nutri, 2002, 255: 1089-1100

责任编辑：袁文业