

文章编号: 1005-0906(2007)06-0051-06

# 春玉米超高产群体冠层结构的研究

王志刚<sup>1</sup>, 高聚林<sup>1</sup>, 任有志<sup>1</sup>, 赵明<sup>2</sup>, 董志强<sup>2</sup>, 李少昆<sup>2</sup>, 杨凤山<sup>3</sup>

(1. 内蒙古农业大学, 呼和浩特 010019; 2. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081;

3. 赤峰市松山区农业技术推广中心, 内蒙古 赤峰 024005)

**摘要:** 以紧凑型玉米新品种内单 314 为材料, 通过超高产栽培和普通高产栽培的比较, 对超高产玉米的冠层结构和叶片光合特点进行了研究。结果表明: ①超高产栽培条件下, 内单 314 最大 LAI(叶面积指数)达 6.95, 其全生育期内 LAI 维持在 6 以上的时间在 40 d 以上; 全生育期总 LAD(光合势)比普通高产群体高 74.85 万  $\text{m}^2/(\text{d} \cdot \text{hm}^2)$ 。②与普通高产玉米相比, 超高产玉米群体内个体空间分布更加合理, 叶片功能期延长, 株型更加紧凑。超高产群体冠层截获的 PAR(光合有效辐射)比普通高产群体高 25  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 且超高产群体中散射 PAR 占入射 PAR 的比例高于普通高产群体, 群体内光分布较为合理, 提高了光能利用率。③与普通高产群体相比, 超高产栽培条件下玉米叶片的 Pn(光合速率)和 WUE(水分利用效率)高, 而 Tr(蒸腾速率)较低, 植株穗位及穗位上部叶片的 Pn 和 WUE 高于普通高产栽培, 而穗位下部叶片无明显差异。

**关键词:** 玉米; 超高产; 冠层结构; 光合特性**中图分类号:** S513.04**文献标识码:** A

## Study on Canopy Structure of Super-high Yield Colony in Spring Maize

WANG Zhi-gang, GAO Ju-lin, REN You-zhi, et al.

(Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

**Abstract:** A new compact maize hybrid named ND314 was used in this experiment. This article did a research on the canopy structure and the photosynthesis characteristics of super-high yield maize through a comparison between super-high yield cultivation and common high yield cultivation. The results of this research indicated that the maximum LAI of ND314 under super-high yield cultivation reached 6.95 and the period that was higher than 6 was more than 40 days. The total LAD of the whole life of super-high yield colony was higher than common high yield cultivation by  $7.49 \times 10^5 \text{ m}^2/(\text{d} \cdot \text{hm}^2)$ . Comparing with common high yield maize, the functional period of leaves of super-high yield maize was longer and the plant type was more compact. The PAR intercepted by canopy of super-high yield colony was higher than common high yield colony by 25  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , and the beam fraction of super-high yield colony was higher than common high yield colony. So light distribution in super-high yield colony was more reasonable and the solar energy utilization efficiency was heightened. The photosynthesis rate and water use efficiency of leaves of super-high yield maize were higher than common high yield maize but transpiration rate, and the photosynthesis rate and water use efficiency of the leaves above the ear of super-high yield plants was higher than common high yield plants, but this difference was not obvious under the ear.

**Key words:** Maize; Super-high yield; Canopy structure; Photosynthesis characteristic**收稿日期:** 2007-05-19; **修回日期:** 2007-06-30**基金项目:** 国家自然科学基金项目(30660083)、内蒙古自然科学基金项目(20040802 0302)、北京农业育种基础研究创新平台项目**作者简介:** 王志刚(1983-), 男, 内蒙古赤峰人, 在读博士, 主要从事作物生理生态及决策系统研究。

E-mail: nmgwangzhigang@126.com

高聚林为本文通讯作者。Tel: 0471-4305414

E-mail: gaojulin@yahoo.com.cn

近年来, 我国畜牧业和玉米加工业对玉米需求量越来越大, 玉米市场处于从自给有余略有出口的基本平衡型向着供应偏紧、需少量进口补充的紧平衡状态的过渡中。我国耕地以每年 29 万  $\text{hm}^2$  的速度在减少, 为保证我国粮食安全, 必须提高玉米单产水平。我国玉米的增产潜力很大, 2005 年国家玉米研究中心把“超高产”(产量  $\geq 15\ 000 \text{ kg}/\text{hm}^2$  或比相同生育期生产主栽对照品种增产 20%) 作为超级玉米

定义指标以来,我国玉米超高产栽培理论研究开始起步。有关学者认为,在巩固已有单穗粒重或稍有减轻的前提下,逐步增加种植密度是今后超高产栽培的发展趋势,而建立高光效的光合生产体系是获取高产的核心。增大密度后的群体条件下如何协调个体与群体的关系,构建高光效光合生产体系,成为玉米超高产栽培理论的关键。已有研究表明,在不同密度和水肥条件下,玉米群体冠层和个体株型特征会产生适应性变化,以协调个体与群体关系,构建高光效群体。玉米的株型和冠层结构增产的原因主要是通过影响群体内光分布来起作用。在玉米超高产栽培中,选用具有合理株型的品种至关重要。明确超高产群体冠层结构指标体系对超级玉米的育种与栽培工作具有重要指导意义。目前在产量高于 15 000 kg/hm<sup>2</sup> 栽培条件下冠层结构的研究尚属空白。本研究采用紧凑型玉米新品种内单 314,运用“增肥增密”等综合配套农艺措施,创造了内蒙古春玉米 17 383.5 kg/hm<sup>2</sup> 的超高产记录。本文以作物冠层合理化分布为切入点,通过超高产栽培和普通高产栽培的比较,对超高产玉米的冠层结构和叶片光合特点进行了研究,为超级玉米育种与栽培工作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

表 1 田间实施方案设计  
Table 1 Implement project in farm

| 处 理<br>Treatment | 播种密度(株 /hm <sup>2</sup> )<br>Planting density | 施肥量(kg/hm <sup>2</sup> )<br>Fertilization amount |                               |                  | 小区面积 (hm <sup>2</sup> )<br>Plot area |
|------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------------|
|                  |                                               | N                                                | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |                                      |
| SH314            | 85 500                                        | 520.5                                            | 213                           | 193.5            | 0.1                                  |
| H314 (CK)        | 67 500                                        | 262.5                                            | 105                           | 157.5            | 0.1                                  |

注:SH314 为超高产;H314 为普通高产。下表同。  
Note: SH314 was Supper high yield; H314 was Common high yield. The same as the following tables.

1.2 测定项目与方法

各指标于大喇叭口期、散粉期和乳熟期测定 3 次。  
叶片姿态采用叶向值法;冠层内光辐射特性采用英国 Delta 公司生产的 Sunscan 冠层分析系统测定,分别采集 LAI、冠层顶部总光合有效辐射(入射 PAR)、地面处光合有效辐射(TPAR)和入射 PAR 中散射 PAR 所占比例(beam fraction)等指标,测定时间为 9:00 ~ 11:00。全株各叶位叶片光和特性采用 Li-6400 光合测定系统测定。生育期间定标准株 10

试验于 2006 年在内蒙古农业大学教学农场进行,土壤有机质含量为 2.75%,全氮含量 0.165%,碱解氮含量 107.6 mg/kg,速效磷含量 40.95 mg/kg,速效钾含量 145 mg/kg,pH 为 7.7。以紧凑型玉米杂交种内单 314 为材料,根据国内外玉米创高产纪录的经验,结合内蒙古平原灌区土壤、气候条件和品种特性,设计超高产(子粒产量 >15 000 kg/hm<sup>2</sup>)栽培试验,并以普通高产田(子粒产量 >11 250 kg/hm<sup>2</sup>)为对照。  
超高产试验播种密度为 85 500 株 /hm<sup>2</sup>,行距 42 cm,株距 28 cm;播种同时用育苗钵育苗,出苗后于 3 叶期查苗,坐水补苗,保证田间密度。P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 213 kg/hm<sup>2</sup> 和 K<sub>2</sub>O 193.5 kg/hm<sup>2</sup> 作种肥一次性侧深施,纯 N 520.5 kg/hm<sup>2</sup> 分别在拔节期、大喇叭口期和灌浆期按 3:6:1 的比例追施,追肥后及时灌水。试验于 4 月 21 日播种,5 月 5 日出苗,6 月 17 日追拔节肥、灌第 1 次水,7 月 9 日追穗肥、灌第 2 次水,8 月 5 日开花期灌第 3 次水,8 月 24 日追攻粒肥、灌第 4 次水。其它管理按照高产玉米田管理措施精细管理。  
普通高产田(对照)播种密度为 67 500 株 /hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 105 kg/hm<sup>2</sup> 和 K<sub>2</sub>O 157.5 kg/hm<sup>2</sup> 作种肥一次性侧深施,纯 N 262.5 kg/hm<sup>2</sup> 分别在拔节期、大喇叭口期 3:7 的比例追施,6 月 17 日追拔节肥、灌第 1 次水,7 月 9 日追穗肥、灌第 2 次水。其它田间管理与超高产试验相同。试验地随机区组设计,小区面积 0.1 hm<sup>2</sup>,3 次重复。

株观察记录玉米叶片功能期,即叶片完全展开至叶片 1/2 枯黄所经历的天数,并用长宽系数法测定各叶位叶面积。

2 结果与分析

2.1 产量构成因素

由表 2 可见,超高产栽培条件下,内单 314 田间密度比普通高产栽培增加 17 595 株 /hm<sup>2</sup>,虽然穗粒数减少了 70 粒,但由于超高产栽培条件下玉米植株的光合生产能力较强,延长了收获时间,使子粒灌浆

更加充分,千粒重提高了 13 g,经济系数达 0.504,实测产量达 17 383.5 kg/hm<sup>2</sup>。在确保单位穗数和千粒

重潜力的基础上,减少败育粒、提高结实率是实现产量新突破的有效途径。

表 2 超高产和普通高产玉米产量构成因素

Table 2 Yield constituted factors of super-high yield maize and common high yield maize

| 处 理        | 密度(株 /hm <sup>2</sup> ) | 穗粒数(粒)                 | 千粒重(g)            | 子粒产量(kg /hm <sup>2</sup> ) | 经济系数          |
|------------|-------------------------|------------------------|-------------------|----------------------------|---------------|
| Treatments | Density                 | Grain number per spike | 1000-grain weight | Grain yield                | Harvest index |
| SH314      | 85 095                  | 607.5                  | 336.3             | 17 383.5                   | 0.504         |
| H314       | 67 500                  | 678.1                  | 323.4             | 13 324.5                   | 0.361         |

2.2 冠层结构与光分布

2.2.1 冠层结构

(1)叶面积指数(LAI)与光合势(LAD)

由表 3 可见,超高产栽培条件下,内单 314 最大 LAI 达 6.95,比普通高产群体(6.29)高 0.66;其全生育期内 LAI 维持在 6 以上的时间在 40 d 以上,至成

熟期其 LAI 仍为 3.59。与普通高产群体相比,其前期 LAI 上升更快,高值持续时间更长,后期下降则相对较慢。内单 314 各个生育时期的 LAD 皆高于普通高产群体。全生育期总光合势达 625.35 万 m<sup>2</sup>/(d·hm<sup>2</sup>),比普通高产群体[550.5 万 m<sup>2</sup>/(d·hm<sup>2</sup>)]高 74.85 万 m<sup>2</sup>/(d·hm<sup>2</sup>)(表 4)。

表 3 超高产和普通高产玉米在出苗后不同时间的 LAI

Table 3 LAI dynamics of super-high yield maize and common high yield maize in the different periods after emergence

| 处 理   | 出苗后天数(d) Days after emergence |      |      |      |      |
|-------|-------------------------------|------|------|------|------|
|       | 32                            | 61   | 80   | 120  | 140  |
| SH314 | 0.49                          | 5.29 | 6.95 | 6.88 | 3.59 |
| H314  | 0.39                          | 5.09 | 6.29 | 5.47 | 2.70 |

表 4 超高产和普通高产玉米不同生育阶段的 LAD

Table 4 LAD dynamics of super-high yield maize and common high yield maize in different growth stage

| 处 理   | 出苗期~拔节期            | 拔节期~大口期                         | 大口期~散粉期                           | 散粉期~乳熟期           | 乳熟期~成熟期          | 总光合势      |
|-------|--------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|-----------|
|       | Emergence-Shooting | Shooting-Floret differentiating | Floret differentiating -Flowering | Flowering-Milking | Milking-Maturity | Total LAD |
| SH314 | 7.95               | 86.70                           | 122.40                            | 293.25            | 114.90           | 625.35    |
| H314  | 6.30               | 82.20                           | 113.85                            | 241.05            | 107.10           | 550.50    |

(2)植株各叶位叶面积、功能期和光合势

由图 1 可见,与普通高产栽培相比,超高产栽培条件下内单 314 植株各叶位叶片功能期较长,下部 10 片叶的叶面积较大,而第 10 叶以上叶片面积则明显低于普通高产玉米。从光合势来看,超高产玉米植株下部叶片单叶光合势较大,表现为棒三叶及其以下叶片高于普通高产玉米,而棒三叶以上叶片则相反。说明在延长整株叶片功能期的前提下,延缓植株下部叶片的衰老、提高其光合势是实现玉米超高产的基础。

(3)叶片着生状态

由表 5 可见,玉米各生育时期不同层次叶片叶倾角表现为棒三叶上部叶<棒三叶<棒三叶下部叶,

超高产玉米各层次叶片的叶倾角明显低于普通高产玉米,而叶向值则相反。说明在超高产栽培条件下,玉米对高密度压力产生适应性反应,株型相对紧凑,这是个体和群体相协调的表现。散粉期超高产玉米内单 314 棒三叶上部叶、棒三叶和棒三叶下部叶的叶倾角分别为 20±0.64°、29.6±0.82°和 35±0.76°,全株平均叶倾角为 28.2±0.56°;叶向值则分别为 68±0.59、53.21±0.56 和 43.13±0.9,全株叶向值为 54.78±0.69。乳熟期玉米叶倾角略有增大,分别为 25.91±0.54°、36.7±0.69°和 37.57±0.93°,全株平均叶倾角为 33.39±0.78°;叶向值则有所降低,分别为 61.54±0.49、53±1.2 和 42.8±0.45,全株叶向值为 53.23±1.02。

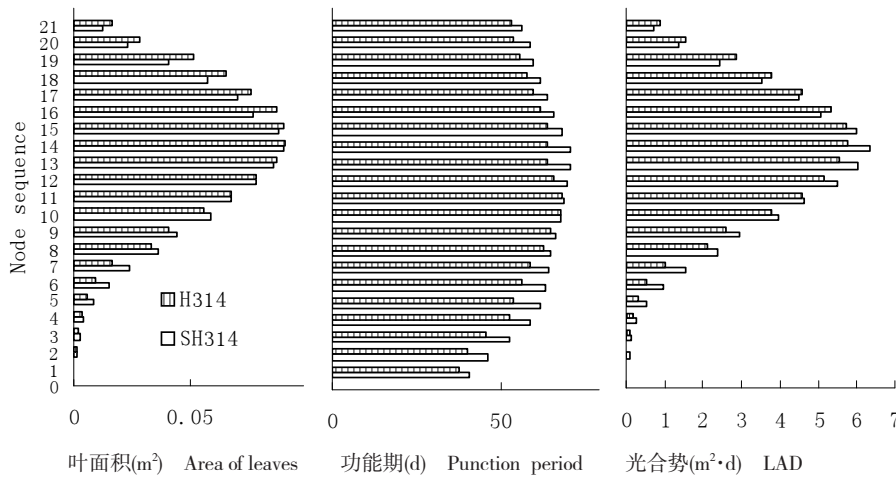


图 1 超高产和普通高产条件下内单 314 叶片面积、功能期和光合势

Fig.1 Leaf areas, functional period and LAD per leaf under super-high yield and common high yield cultivation

表 5 超高产和普通高产玉米叶倾角和叶向值

Table 5 Leaf angle and leaf orientation value of super-high yield maize and common high yield maize

| 生育时期<br>Growth stage | 处 理<br>Treatment | 叶倾角(°) Leaf angle |              |              |                  | 叶向值 Leaf orientation value |              |              |                  |
|----------------------|------------------|-------------------|--------------|--------------|------------------|----------------------------|--------------|--------------|------------------|
|                      |                  | 棒三叶上部叶            | 棒三叶          | 棒三叶下部叶       | 全株平均             | 棒三叶上部叶                     | 棒三叶          | 棒三叶下部叶       | 全株平均             |
|                      |                  | Top leaf          | Middle leaf  | Bottom leaf  | Average of total | Top leaf                   | Middle leaf  | Bottom leaf  | Average of total |
| 大喇叭口期                | SH314            | —                 | —            | —            | 33.03 ± 0.47     | —                          | —            | —            | 48.96 ± 1.14     |
|                      | H314             | —                 | —            | —            | 33.35 ± 1.97     | —                          | —            | —            | 48.55 ± 0.61     |
| 散粉期                  | SH314            | 20.00 ± 0.64      | 29.60 ± 0.82 | 35.00 ± 0.76 | 28.20 ± 0.56     | 68.00 ± 0.59               | 53.21 ± 0.56 | 43.13 ± 0.90 | 54.78 ± 0.69     |
|                      | H314             | 20.34 ± 0.26      | 29.44 ± 0.94 | 35.98 ± 0.64 | 28.59 ± 0.71     | 67.59 ± 0.84               | 53.31 ± 0.49 | 41.48 ± 0.63 | 54.13 ± 0.85     |
| 乳熟期                  | SH314            | 25.91 ± 0.54      | 36.70 ± 0.69 | 37.57 ± 0.93 | 33.39 ± 0.78     | 61.54 ± 0.49               | 53.00 ± 1.20 | 42.80 ± 0.45 | 53.23 ± 1.02     |
|                      | H314             | 26.00 ± 1.05      | 36.56 ± 0.19 | 39.23 ± 1.72 | 33.93 ± 1.94     | 58.32 ± 0.78               | 49.96 ± 0.51 | 41.03 ± 1.20 | 50.43 ± 0.33     |

2.2.2 光分布与光辐射特点

超高产群体各层的透光率均低于普通高产群体,且群体穗部以上透光率差异较大,而其下层差异逐渐变小;消光系数则表现为超高产群体 > 高产群体,减小了群体的漏光损失。内单 314 超高产群体棒三叶以上、穗部、棒三叶以下和地面的透光率分别为

66.82%、35.19%、23.23%和 14.09%,其群体消光系数为 0.282(表 6)。超高产群体冠层截获的光合有效辐射比普通高产群体高 25 μmol/(m²·s),且超高产群体中散射 PAR 占入射 PAR 的比例高于普通高产群体,群体内光分布较为合理,提高了光能利用率。

表 6 散粉期超高产和普通高产玉米群体内透光率和消光系数

Table 6 Transmittances and extinction coefficient of maize colony at flowering stage

| 处 理<br>Treatment | 透光率(%) Transmittance   |                  |                        |        | 消光系数<br>Extinction<br>coefficient | 冠层截获 PAR<br>[μmol/(m²·s)]<br>IPAR | 入射 PAR 中散射<br>PAR 的比例<br>Beam fraction |
|------------------|------------------------|------------------|------------------------|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
|                  | 棒三叶以上                  | 穗 部              | 棒三叶以下                  | 地 面    |                                   |                                   |                                        |
|                  | Above three-ear leaves | Three-ear leaves | Under three-ear leaves | Ground |                                   |                                   |                                        |
| SH314            | 66.82                  | 35.19            | 23.23                  | 14.09  | 0.282                             | 1270.10                           | 0.57                                   |
| H314             | 83.04                  | 53.72            | 35.66                  | 17.44  | 0.277                             | 1245.15                           | 0.56                                   |

2.2.3 叶片光合特性与 WUE

(1)叶片光合特性与 WUE 动态

由图 2~图 5 可见,与普通高产栽培相比,超高产栽培条件下内单 314 功能叶片的 Pn 和 Gs (气孔

导度)较高,而蒸腾速率较低,其全生育期功能叶片水分利用效率高于普通高产栽培。不同栽培条件下,玉米 Pn 和 WUE 与 Tr 呈现相反的动态变化,说明玉米叶片本身的生产效率受到气孔限制。

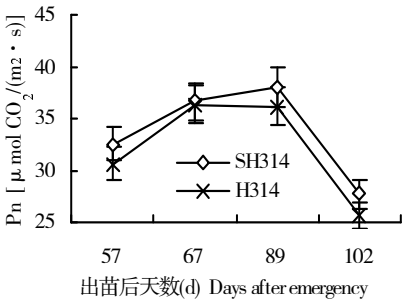


图2 超高产玉米和普通高产玉米叶片 Pn 的变化

Fig.2 Pn dynamics of super-high yield maize and common high yield maize

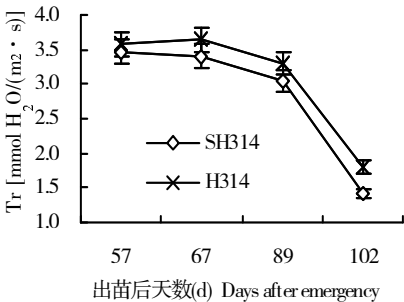


图3 超高产玉米与普通高产玉米叶片 Tr 的变化

Fig.3 Tr dynamics of super-high yield maize and common high yield maize

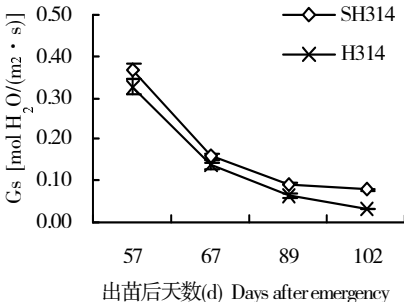


图4 超高产玉米与普通高产玉米叶片 Gs 的变化

Fig.4 Gs dynamics of super-high yield maize and common high yield maize

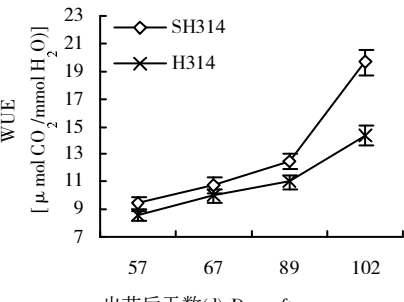


图5 超高产玉米与普通高产玉米叶片 WUE 变化

Fig.5 WUE dynamics of super-high yield maize and common high yield maize

(2)不同层次叶片光合特性与 WUE

由图 6~图 9 可见，在超高产和普通高产两种栽培条件下，玉米叶片光合性能和 WUE 存在显著差异。无论是在超高产还是在普通高产栽培条件下，玉米叶片的 Pn、Tr 和 Gs 皆表现为穗位叶 > 穗位上部叶 > 穗位下部叶，而不同层次叶片 WUE 则表现为穗位上部叶 > 穗位叶 > 穗位下部叶。

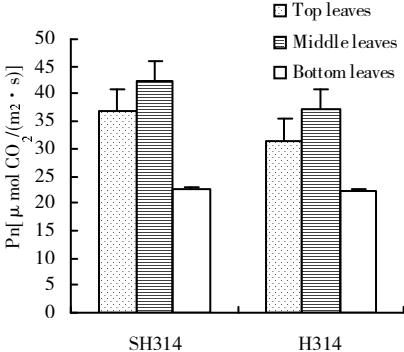


图6 超高产和普通高产玉米各层次叶片的 Pn

Fig.6 Pn of leaves at different position of plant of super-high yield maize and common high yield maize

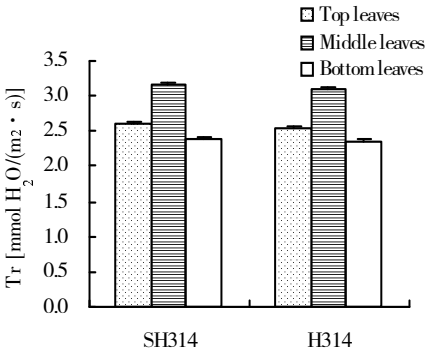


图7 超高产和普通高产玉米各层次叶片的 Tr

Fig.7 Tr of leaves at different position of plant of super-high yield maize and common high yield maize

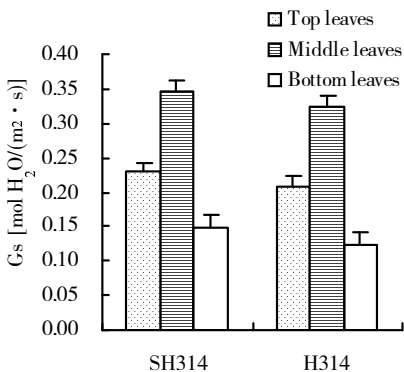


图8 超高产和普通高产玉米各层次叶片的 Gs

Fig.8 Gs of leaves at different position of plant of super-high yield maize and common high yield maize

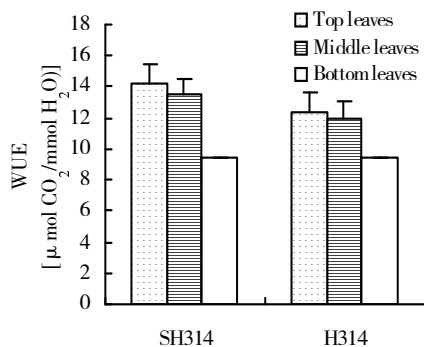


图9 超高产和普通高产玉米各层次叶片的 WUE

Fig.9 WUE of leaves at different position of plant of super-high yield maize and common high yield maize

注:Top leaves 指植株棒三叶上部所有叶片,Middle leaves 指棒三叶,Bottom leaves 指植株棒三叶下部所有叶片;图6~图9中 Pn、Tr、Gs 和 WUE 为上述各部位所有叶片指标的加权平均值。

Note: Top leaves were the leaves above three-ear leaves, Middle leaves were three-ear leaves and Bottom leaves were the leaves below three-ear leaves; the values of Pn, Tr, Gs and WUE in Figure 6 and Figure 9 were the average values of those leaves.

由于营养水平和受光条件的改善,超高产栽培条件下,内单314穗位及穗位上部叶片的 Pn 和 WUE 高于普通高产栽培,而穗位下部叶片无明显差异。在稳定植株下部叶片生产效率的基础上,提高植株穗位以上叶片的生产效率是实现超高产的保证。

### 3 讨论

与普通高产栽培相比,超高产玉米群体的“源”明显扩大。虽然超高产栽培条件下依靠增加密度总体上扩大了库容量,但个体库容减小无疑会抑制产量的进一步提高。在增加密度和提高千粒重的前提下,提高结实率,保证穗粒数,进一步扩“库”,可能成为产量进一步提高的关键。

超高产栽培条件下玉米植株更加紧凑,不同层次叶片叶向值表现为棒三叶上部叶 < 棒三叶 < 棒三叶下部叶。这样的冠层结构使群体光分布更加合

理,改善了高密度条件下棒三叶及其下部叶的受光条件,延长了中下部叶片的光合持续期,并且提高了单叶的光合速率和水分利用效率。比普通高产群体更多地截获光合有效辐射,减少漏光损失,提高光能利用率,同时增加群体内散射光比例,减小强光直射对叶片的损害。超高产玉米不同层次叶片 Pn 和 WUE 高于普通高产玉米,不同层次叶片 Pn 表现为穗位叶 > 穗位上部叶 > 穗位下部叶,这与盛晋华关于春玉米光合速率的研究结果相一致,而与王珍的研究结果不同。这可能与生态条件差异有关。超高产栽培条件下,玉米穗位及穗位叶上部叶片的 Pn 和 WUE 高于普通高产栽培,而穗位下部叶片无明显差异。在稳定植株下部叶片生产效率的基础上,提高植株穗位以上叶片的生产效率将成为产量进一步提高的突破口。

### 参考文献:

- [1] 林定根. 全国耕地净减少 542 万亩[J]. 农村经营管理, 2006(6): 12.
- [2] 赵久然. 超级玉米指标及选育模式[J]. 玉米科学, 2005, 13(1): 3-4, 9.
- [3] 韩 萍, 张玉欣, 郭长贵, 等. 玉米吨粮田的发展概况及技术措施[J]. 玉米科学, 2000, 8(4): 87-91.
- [4] 郭国亮, 李 洪, 栗红生. 不同株型玉米品种的结实性及其受光态势的研究[J]. 山西农业科学, 1998, 26(1): 19-23.
- [5] 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.
- [6] 徐庆章, 王庆成, 牛玉贞, 等. 玉米株型与群体光合作用的关系研究[J]. 作物学报, 1995, 21(4): 492-496.
- [7] 张慧丽, 曲力涛, 李景文, 等. 玉米株型与穗部某些性状相关性的研究[J]. 玉米科学, 2001, 9(2): 59-60.
- [8] 李少昆, 赵 明, 郭小强, 等. 玉米自交系株型及其光合特性的研究[J]. 中国农业大学学报, 1999, 1(5): 77-81.
- [9] 于 强, 王天铎, 孙获芬, 等. 玉米株型与冠层光合作用的数学模拟研究[J]. 作物学报, 1998, 24(3): 272-279.
- [10] 盛晋华, 刘克礼, 吕凤山, 等. 春玉米叶片光合速率变化规律的研究[J]. 内蒙古农牧学院学报, 1997, 18(3): 43-47.
- [11] 王 珍, 武志海, 徐克章. 玉米群体冠层光合速率与叶面积指数关系的初步研究[J]. 吉林农业大学学报, 2001, 23(2): 9-12, 16.

(责任编辑:尹 航)