

# 玉米宽窄行交替休闲保护性耕作的根系和 光分布特征研究\*

刘朝巍<sup>1,2</sup> 张恩和<sup>1</sup> 谢瑞芝<sup>2</sup> 刘武仁<sup>3</sup> 李少昆<sup>2\*\*</sup>

(1. 甘肃农业大学农学院 兰州 730070; 2. 中国农业科学院作物科学研究所 农业部作物生理生态与栽培  
重点开放实验室 北京 100081; 3. 吉林省农业科学院 长春 130124)

**摘 要** 为探明宽窄行交替休闲种植玉米产量变化的原因, 在 2007—2008 年设置大田试验, 比较研究了宽窄行和均匀垄两种耕作方式下玉米光合有效辐射和根系分布等指标的变化动态。结果表明: 深松后(6 月 25 日—9 月 20 日), 宽窄行处理的土壤紧实度低于均匀垄处理, 降低 25.17%~52.04%, 在 0~45 cm 不同土层间平均降低 14.08%~53.16%, 差异最大值出现在 11~20 cm 土层。在 0~45 cm 土层, 均匀垄处理的根系干重在乳熟期和成熟期显著高于宽窄行处理, 分别高 13.47%和 29.62%; 但在根系垂直分布中, 宽窄行比均匀垄处理显著增加了根系在深层土壤所占的比例, 在 15~30 cm 土层, 宽窄行和均匀垄处理在吐丝期、乳熟期和成熟期根系分布比例分别为 6.59%、8.21%、9.00%和 5.21%、7.48%、5.42%, 在 30~45 cm 土层分别为 2.30%、2.61%、3.24%和 1.62%、2.53%、2.09%; 不同品种和当年的降雨情况均会影响宽窄行模式下根系的生长。均匀垄处理中部透光率整体上低于宽窄行处理, 6 月 18 日、7 月 24 日、8 月 29 日宽窄行底部透光率分别比均匀垄处理高 16.12%、5.15%、4.95%, 差异达显著水平。因此, 提高种植密度将有利于宽窄行处理截获更多的光合有效辐射, 从而提高群体的光能利用率。

**关键词** 玉米 产量 保护性耕作 宽窄行种植 根系分布 透光率

**中图分类号:** S-344 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2012)02-0203-07

## Effect of conservation tillage of wide/narrow row planting on maize root and transmittance distribution

LIU Chao-Wei<sup>1,2</sup>, ZHANG En-He<sup>1</sup>, XIE Rui-Zhi<sup>2</sup>, LIU Wu-Ren<sup>3</sup>, LI Shao-Kun<sup>2</sup>

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences; Key Laboratory of Crop Physiology and Production, Ministry of Agriculture, Beijing 100081, China;  
3. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130124, China)

**Abstract** A field experiment was conducted to explore maize yield variability in relation to canopy structure, root distribution and other factors under conventional tillage planting and wide/narrow row planting in 2007—2008. The results showed lower soil compaction under wide/narrow row planting than conventional tillage planting by 25.17%~52.04% after sub-soiling during the period from June 25 to September 20. In the upper 45 cm soil layer, soil compaction decreased by 14.08%~53.16%. The least soil compaction was in the 11~20 cm soil layer. Root dry matter under conventional tillage planting was 13.47% and 29.62% higher than that of wide/narrow row planting at milking and maturity stages, respectively. However, percent root matter in the deep layer under wide/narrow row planting was higher than that of conventional tillage planting. At the 15~30 cm soil layer, percent root matter under wide/narrow row planting was 6.59%, 8.21% and 9.00% at silking, milking, maturity stages, respectively. Similarly, percent root matter under conventional tillage planting was 5.21%, 7.48%, 5.42% for the 3 growth stages, respectively. While it was 2.30%, 2.61% and 3.24% at the 30~45 cm soil layer at the 3 stages under wide/narrow row planting, percent root dry matter under conventional tillage planting was 1.62%, 2.53% and 2.09%. Different varieties and rainfall distributions influenced root growth under

\* 国家科技支撑计划项目(2007BAD89B17, 2006BAD15B03)资助

\*\* 通讯作者: 李少昆(1963—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要研究方向为耕作制度研究。E-mail: lishk@mail.caas.net.cn

刘朝巍(1983—), 男, 博士研究生, 研究方向为旱地与绿洲农作制度。E-mail: liuchw\_1983@163.com

收稿日期: 2011-04-01 接受日期: 2011-09-02

wide/narrow row planting. Photosynthetical active radiation (*PAR*) at middle part of plants under conventional tillage planting was lower than that under wide/narrow row planting. However, *PAR* at bottom of plant on June 18, July 24 and August 29 under wide/narrow row planting was significantly higher than that of conventional tillage planting by 16.12%, 5.15% and 4.95%, respectively. Increasing plant density therefore increased *PAR* under wide/narrow row planting, which eventually enhanced photosynthetic efficiency.

**Key words** Maize, Yield, Conservational tillage, Wide/narrow row planting, Root distribution, Transmittance  
(Received Apr. 1, 2011; accepted Sep. 2, 2011)

东北地区每年生产粮食  $600 \times 10^8$  kg, 其粮食产量和商品粮分别占全国总量的 18% 和 40%。但该地区春旱频繁, 且长期掠夺式经营导致生态环境逐年恶化。保护性耕作具有减少农田土壤侵蚀, 保护农田生态环境, 促进生态效益、经济效益及社会效益协调发展等作用<sup>[1-5]</sup>。吉林省农业科学院于 1995—2008 年研究出玉米宽窄行交替休闲种植保护性耕作技术, 该技术具有改土培肥、保护生态等效果。刘武仁等<sup>[6]</sup>研究表明, 与传统耕作相比, 宽窄行交替休闲种植可明显改善土壤容重、硬度、土壤孔隙度、田间持水量等土壤物理性状, 比其他保护性耕作具有更大潜力, 实际操作性更大, 产量较常规耕作增产 14.8%~15.1%<sup>[6-10]</sup>, 但仍存在产量不稳等问题<sup>[11]</sup>。大多数玉米宽窄行交替休闲种植研究多侧重于干物质、叶面积等常规指标和土壤生态效应等方面, 本文主要从根系、光分布等方面比较玉米宽窄行种植与常规均匀垄种植的差异, 为宽窄行交替休闲种植体系的进一步完善提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验于 2007—2008 年在吉林省公主岭市范家屯镇香山村试验田进行。试验点位于东北平原中部, 全年平均气温  $5.7^\circ\text{C}$ , 无霜期 140 d 左右,  $\geq 10^\circ\text{C}$  年有效积温  $2860^\circ\text{C}$ , 年降雨量 560 mm 且降雨时空分布不均。试验地土壤类型为薄层黑土, 有机质丰富, 自然肥力较高, 保水性能好。土壤有机质含量  $26.68 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 全氮  $131.80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 全磷  $35.82 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 全钾  $147.80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 试验设计

试验为 1995 年开始的长期定位试验, 设常规种植和宽窄行交替种植 2 种植方式。常规种植方式(均匀垄种植)为对照, 秋天玉米收获后翻地、旋耕、起垄, 65 cm 等行距种植; 宽窄行留高茬交替休闲种植为处理(以下简称宽窄行处理), 秋天翻耕时, 将 65 cm 的均匀行距改成 40 cm 窄行和 90 cm 宽行, 窄行种植玉米, 宽行作为深松带, 次年宽行种植玉米, 窄行作为深松带, 以后依次将宽窄行进行轮换。用双行精播机实施 40 cm 窄行带精密点播, 种植时间

为 4 月 28 日, 收获时间为 10 月 1 日, 秋季作物收获后, 窄行种植带留茬高度为 30 cm, 宽行用小型旋耕机整平, 作为下一年播种的基床。试验小区试验面积为  $52 \text{ m}^2$ 。2007 年播种密度为  $4.5 \text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 2008 年为  $6 \text{ 万株}\cdot\text{hm}^{-2}$ , 施肥水平为常规施肥量( $\text{N } 230 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5 150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O } 150 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ), 施肥方式为底肥+拔节肥, 磷钾肥做底肥, 氮肥拔节期追施。田间管理与当地大田生产一致。供试玉米选用当地常用品种“先玉 335”(2007 年)和“郑单 958”(2008 年)。

### 1.3 测定项目与方法

叶面积指数(*LAI*)测定: 在玉米关键生育期, 从每小区选择有代表性的植株 5 株, 采用长宽系数法测量整株玉米叶片。光合有效辐射(*PAR*)测定: 分别在拔节期、小喇叭口期、吐丝期、灌浆期和乳熟期, 各小区采用 SUNSCAN 冠层分析仪在植株底部、中部、顶部测定; 常规均匀垄处理在行间、株间测定, 分别用 CK1、CK2 表示, 宽窄行处理在宽行偏西、正中、偏东(距植株 10 cm 处), 宽行株间、窄行间、窄行株间测定, 分别用 WR1、WR2、WR3、WR4、WR5 和 WR6 表示, 结尾分别用 m(middle)和 b(bottom)分别表示中部和底部, 同层各位点 *PAR* 取平均值作为该层的 *PAR* 值, 透光率=测定层光强/冠层顶层光强 $\times 100\%$ 。根系采用美国进口大口径根钻于玉米吐丝期、乳熟期、成熟期测定, 垂直方向上分 0~15 cm、15~30 cm、30~45 cm, 在玉米植株行间、株间、植株生长点取土样, 然后去除土壤中杂质, 将根系在  $60^\circ\text{C}$  烘干称重, 水平方向上各测定点取平均值作为该层的根量。紧实度使用紧实度计在玉米关键生育期测定, 深度 45 cm, 每 5 cm 记录 1 次读数, 测定位置为玉米行间。每小区收获  $20 \text{ m}^2$  玉米, 称所有果穗总鲜重, 按平均鲜穗重随机选取 10 穗, 测定含水率, 计算产量(按 14% 折算含水率), 风干后进行室内考种。

### 1.4 数据分析

利用两因素随机区组模型分析, 将 3 次重复收集的参数采用 SAS 8.1(GLM)与 Excel 软件进行方差分析和显著性检验( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 两种耕作方式对土壤紧实度的影响

土壤紧实度是反映土壤通透性的重要指标。由图1可知,深松后(6月25日),宽窄行处理土壤紧实度在0~45 cm范围内随土层加深呈逐渐增加趋势,而均匀垄处理土壤紧实度呈单峰曲线变化,在11~20 cm出现1个峰值;宽窄行和均匀垄处理土壤紧实度差异随土层深度的加深呈先增加后减小的趋势,差异最大值出现在11~20 cm土层。相同土层各生育期的平均值,在0~45 cm宽窄行处理紧实度比均匀垄处理低14.08%~53.16%;不同生育期间比较,宽窄行和均匀垄处理差异在6月25日—8月8日逐渐减小,8月8日—9月20日变化无明显规律,宽窄行处理深松后(6月25日—9月20日)紧实度(0~45 cm

土层平均值)比均匀垄处理降低25.17%~52.04%,差异变化结果主要由于生育期间宽窄行处理紧实度随深松时间的延长而逐渐变大,后期趋于稳定,而均匀垄处理紧实度在生育期间变化平稳。深松显著降低了土壤紧实度,打破了犁底层,形成了一个外实内虚的土壤环境,有利于土壤水分的贮存,同时改善了根系分布。

### 2.2 两种耕作方式下玉米根干重的时间动态

由图2可知,均匀垄处理玉米在各个生育时期根系干重均高于宽窄行处理,且在乳熟期和成熟期达到显著水平,分别较宽窄行高13.47%和29.62%。不同生育时期比较,宽窄行处理玉米根系干重从吐丝到成熟呈下降趋势,吐丝期和乳熟期根量差异不显著,成熟期根量显著低于吐丝期和乳熟期(分别低

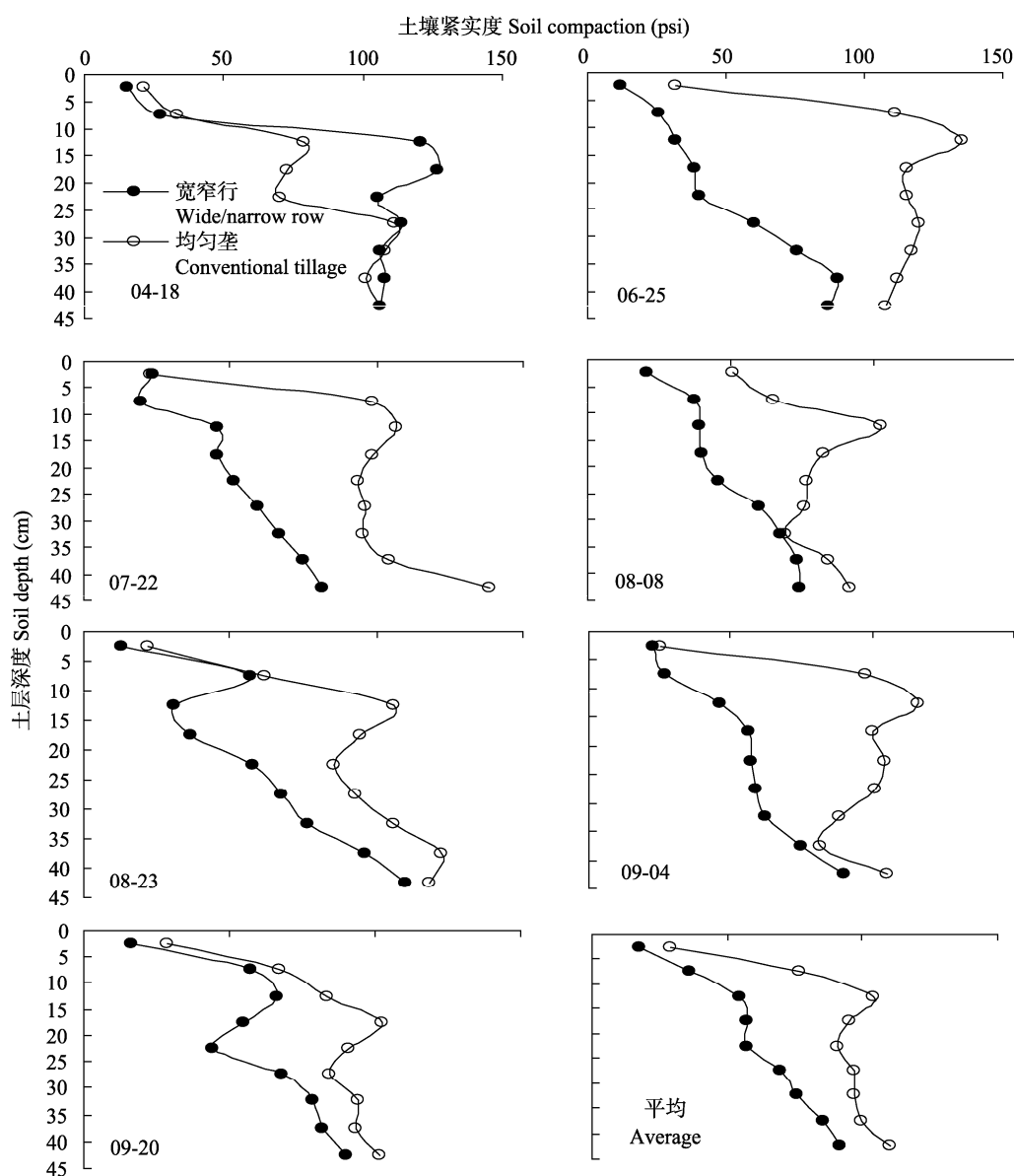


图1 耕作方式对不同时期不同深度土壤紧实度的影响

Fig. 1 Effects of different tillage patterns on soil compaction at different maize growth stages

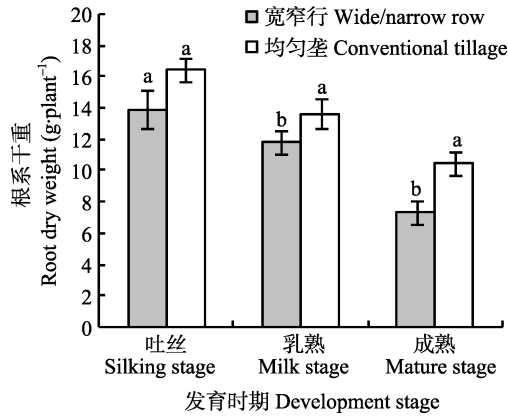


图 2 不同生育时期宽窄行与均匀垄耕作的玉米根量对比  
Fig. 2 Root weight of maize under wide/narrow row planting and conventional tillage planting at different growth stages

47.07%和 37.05%)。在均匀垄处理中, 玉米根系干重从吐丝期到成熟期仍呈下降趋势, 且成熟期根量显著低于吐丝期, 较吐丝期低 36.35%, 吐丝期与乳熟期、乳熟期与成熟期根量差异不显著, 可能由于宽窄行处理前期生长旺盛消耗了较多的养分, 因此在生育后期根系缺肥而出现早衰现象, 这将对地上部的生长产生不利影响。

### 2.3 两种耕作方式下玉米根系的垂直分布

从玉米吐丝期两种耕作方式根系的垂直分布可以看出(图 3), 在不同深度的根系干重比较中, 宽窄行处理在 0~15 cm 土层根系干重低于均匀垄处理, 在 15~30 cm、30~45 cm 土层均高于均匀垄处理, 但两种耕作处理在各个土层间差异均不显著。从各土层根系分布的百分比可以看出, 0~15 cm 土层根系百分比宽窄行处理低于均匀垄处理, 分别为 91.09%和 93.16%; 15~30 cm 土层为宽窄行处理高于均匀垄处理, 分别为 6.59%和 5.21%; 30~45 cm 土层宽窄行处理为 2.30%, 均匀垄处理为 1.62%。

在乳熟期(图 3), 玉米根系从上到下的分布趋势与吐丝期相同。在根系干重方面 0~45 cm 均为宽窄行处理低于均匀垄处理, 且在 0~15 cm 土层达到显

著差异, 较均匀垄处理低 16.96%。在根系分布百分比方面, 0~15 cm 土层为宽窄行处理低于均匀垄处理, 分别为 89.18%和 89.99%; 15~45 cm 土层为宽窄行处理高于均匀垄处理, 15~30 cm 土层分别为 8.21%和 7.48%, 30~45 cm 土层分别为 2.61%和 2.53%。

在成熟期(图 3), 两种耕作方式的根系分布比较, 0~15 cm 土层为宽窄行处理根系干重显著低于均匀垄处理, 较均匀垄处理低 33.22%; 15~45 cm 土层均为宽窄行根系干重高于均匀垄处理, 但处理间差异不显著。在根系分布百分比上, 0~15 cm 土层宽窄行处理低于均匀垄处理, 分别为 87.76%和 92.49%; 15~45 cm 为宽窄行处理高于均匀垄处理, 15~30 cm 土层分别为 9.00%和 5.42%, 30~45 cm 土层分别为 3.24%和 2.09%。玉米根量和不同深度的根系百分比均会影响地上部叶面积指数和群体冠层分布。

### 2.4 两种耕作方式对玉米群体光合有效辐射的影响

透光率可以反映冠层内各部位的受光情况, 良好的光照条件对作物的生长发育至关重要。由图 4 玉米中部各测量点的透光率可以看出, 6 月 18 日, CK1m 和 CK2m 的透光率显著低于 WR1m、WR2m、WR3m, 显著高于 WR6m, 与 WR4m、WR5m 差异不显著。7 月 4 日, CK1m 和 CK2m 显著低于 WR1m、WR2m、WR4m、WR6m, 但与 WR3m、WR5m 差异不显著。7 月 24 日, CK1m、CK2m 显著低于其他宽窄行处理。8 月 18 日, CK1m 和 CK2m 显著低于 WR1m、WR2m、WR3m。8 月 29 日, CK1m 和 CK2m 显著低于除 WR6m 外的其他处理。可见, 均匀垄处理(CK1m、CK2m)中部透光率整体上低于宽窄行处理。群体底部的透光率可以很好地反映整个群体内部的透光状况, 底部透光率随着玉米的生长呈下降趋势, 到后期趋于稳定, 两处理间比较与中部透光率整体趋势相同, 仍然是宽窄行处理大部分透光率观测值高于均匀垄处理, 同一处理中根据不同观测点求平均值, 6 月 18 日、7 月 24 日、8 月 29 日两处

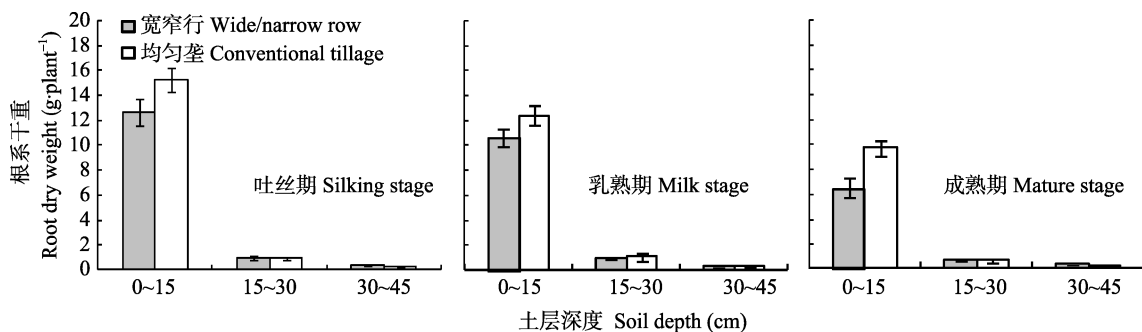


图 3 不同生育时期宽窄行与均匀垄耕作玉米根系垂直分布比较

Fig. 3 Root vertical distribution of maize in different soil layers under wide/narrow row planting and conventional tillage planting at different growth stages

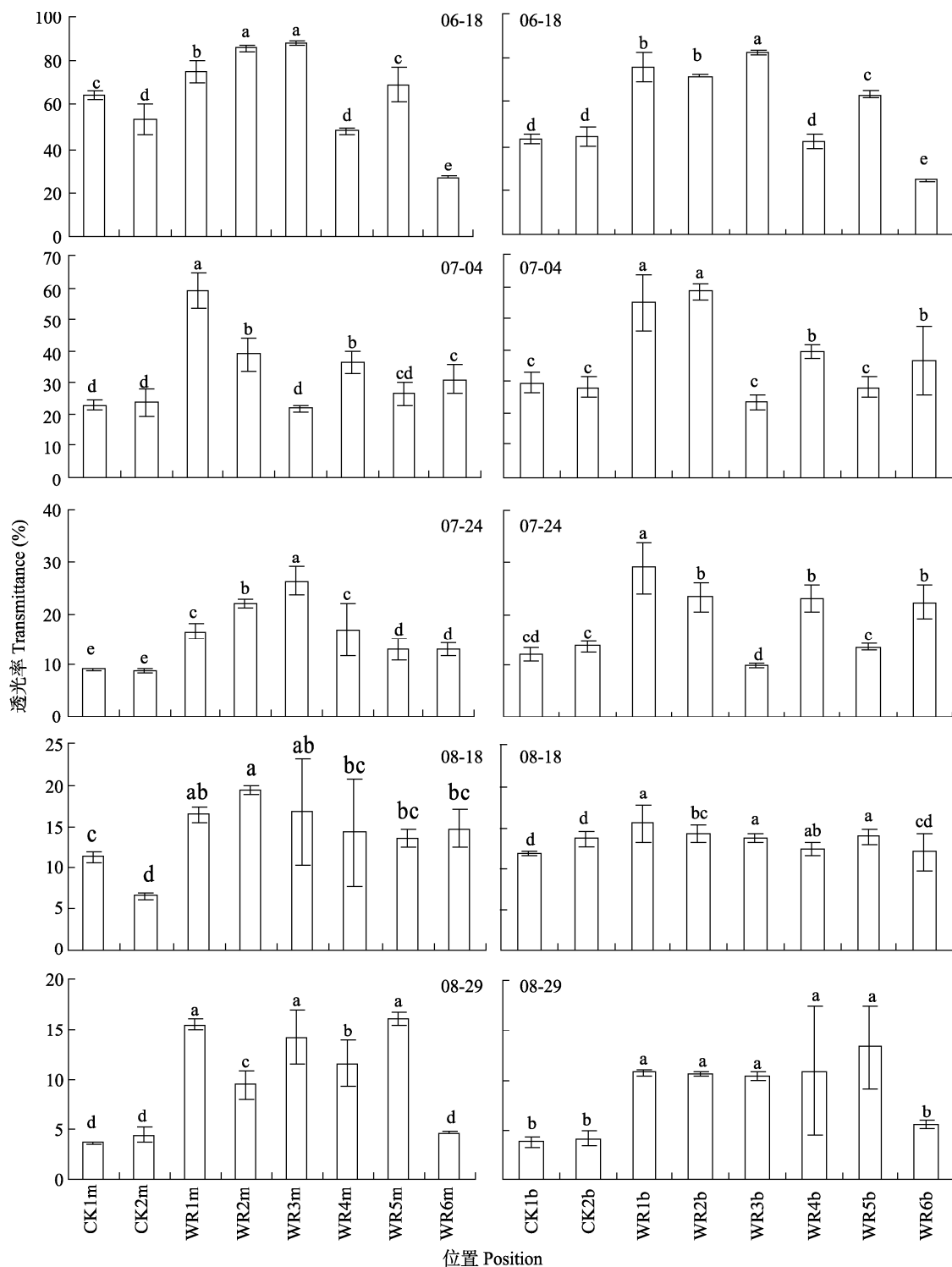


图 4 宽窄行与均匀垄耕作处理玉米中部及底部不同时期植株透光率的水平分布

Fig. 4 Horizontal distribution of the transmittance at the middle and bottom of maize plant under wide/narrow row planting and conventional tillage planting at different growth stages

WR1、WR2、WR3、WR4、WR5、WR6 分别表示宽窄行处理的宽行偏西、正中、偏东(距植株 10 cm 处), 宽行株间、窄行间、窄行株间; CK1、CK2 分别表示均匀垄处理的行间、株间, 结尾分别用 m 和 b 表示中部和底部。WR1, WR2, WR3, WR4, WR5, WR6 represent west, middle, east parts of wide row (10 cm away from the plants); position between plants in wide-row, position between narrow rows and position between plants in narrow row, respectively; CK1 and CK2 represent sampling positions between rows and plants of conventional tillage, respectively; “m” and “b” represent middle part and bottom of the plant.

理间差异达到显著水平, 宽窄行处理分别较均匀垄处理高 16.12%、5.15%和 4.95%, 主要由于宽窄行处理宽行间距是均匀垄行距的 1.5 倍, 增加了群体的

透光率, 良好的群体结构使玉米各层叶片均得到良好的光照, 更有利于玉米进行光合作用, 从而增加产量。

## 2.5 两种耕作方式对玉米产量的影响

玉米产量结果显示(图 5), 除 2004 年、2007 年、2008 年外, 宽窄行处理玉米产量均显著高于均匀垄处理, 平均比均匀垄处理高 14.84%, 2004 年和 2008 年两处理玉米产量差异不显著, 2007 年宽窄行处理

玉米产量较均匀垄处理低 24.89%, 产量表现不一致可能与种植品种有关, 2007 年种植的“先玉 335”茎秆较细, 而试验地区风沙较大, 雨后刮风容易造成玉米后期倒伏, 宽窄行处理的高通风性可能增加了倒伏的程度。

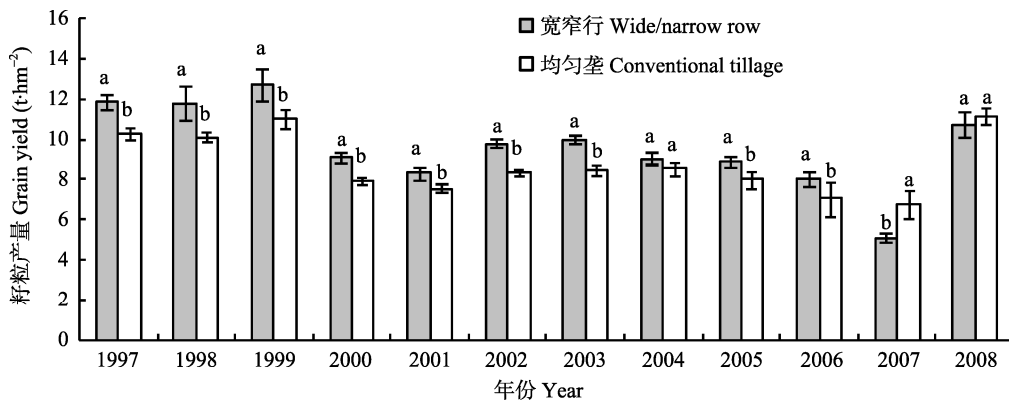


图 5 宽窄行与均匀垄两种耕作方式下春玉米产量的比较

Fig. 5 Yield comparison of spring maize under wide/narrow row planting and conventional tillage planting

1997—2006 年产量数据由吉林农业科学院刘武仁研究员提供 Yield data from 1997 to 2006 was provided by Professor LIU Wu-Ren from Jilin Academy of Agricultural Sciences.

## 3 讨论

### 3.1 玉米宽窄行交替休闲种植对土壤结构的影响

前人研究表明<sup>[6]</sup>, 宽窄行种植土壤容重在 0~40 cm 土层降低  $0.120 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 0~50 cm 土层土壤硬度降低  $4.01 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 。本试验研究表明, 深松后宽窄行处理不同生育时期在 0~45 cm 土层平均比均匀垄处理土壤紧实度降低 25.17%~52.04%; 不同土层深度比较, 宽窄行处理全生育期平均比均匀垄处理低 14.08%~53.16%; 处理间差异随土层加深呈现先增加后减小的趋势, 差异最大值出现在 11~20 cm 土层, 且随生育进程呈现逐渐减小并趋于稳定的趋势。这主要是由于深松打破了犁底层, 土壤紧实度显著下降。疏松的土壤环境有利于作物根系的发育, 深松可以促进根系下扎, 更有利于作物对深层土壤养分和水分的吸收。

### 3.2 玉米宽窄行交替休闲种植对根系时空分布的影响

刘武仁等<sup>[12]</sup>研究认为, 宽窄行种植有利于玉米根系的发育, 根量较均匀垄处理增加 32.58%。本试验也证实, 宽窄行交替休闲种植改善了玉米根系的分布, 增加了下层土壤中根系所占的百分比, 但在总根量上表现为开花期差异不显著, 乳熟期和成熟期反而低于常规均匀垄处理, 说明根系可能存在早衰现象, 本试验中宽窄行处理前期营养生长过旺导致后期养分不足, 也可能是引起宽窄行处理玉米生育后期根量降低的原因。另一方面, 前期研究表明,

深松幅度和降雨均会影响宽窄行的深松效果, 宽窄行与均匀垄比较, 正常年份土壤含水率宽幅深松高于窄幅深松, 窄幅深松高于均匀垄。降雨量较多的年份, 深松与均匀垄处理间土壤含水率差异不显著<sup>[9]</sup>, 深松效果也可能是影响宽窄行根系发育的另一原因。

### 3.3 玉米宽窄行交替休闲种植对冠层光分布特征的影响

良好的冠层结构是高产的关键, 群体透光率过高或过低均不利于产量、经济效益的最大化, 群体过于密植、透光率过低易造成群体密闭, 叶片受光条件变差, 从而影响作物生长、光合作用, 最终导致减产; 透光率过高则会导致光能利用率下降, 且透射到底部的光能会引起地表水分的无效蒸发<sup>[13-14]</sup>。罗洋等<sup>[8]</sup>通过密度试验表明, 宽窄行处理与均匀垄处理比较由于行距发生变化, 种植密度较均匀垄处理提高 10%, 认为宽窄行处理较均匀垄处理更加耐密。本试验研究表明: 宽窄行处理透光率明显高于均匀垄处理, 且在宽行间差异较大, 从理论上证明了宽窄行处理可以在保证良好的透光条件下适当增加密度, 最大可能地减少群体的漏光损失, 提高光能利用率。

### 3.4 玉米宽窄行交替休闲种植对玉米产量的影响

结合刘武仁等<sup>[6-9]</sup>前期研究表明: 1997—2008 年(2004 年、2007 年和 2008 年除外)宽窄行保护性耕作玉米产量平均比常规均匀垄处理增加 14.84%, 本试验在 2007 年研究发现宽窄行处理比均匀垄处理减产

14.05%, 其原因可能与品种有关, “先玉335”茎秆较细, 果穗大, 而试验地区风沙较大, 雨后刮风容易造成玉米后期倒伏, 宽窄行处理的高通风性可能增加了倒伏的程度, 最终产量显著低于均匀垄处理。刘武仁和初振东等<sup>[10,15]</sup>也发现少数玉米品种采用宽窄行种植有减产现象。2008年试验品种改为“郑单958”, 两耕作方式产量差异不显著。“郑单958”茎秆粗壮、耐密, 玉米种植密度由2007年的4.5万株·hm<sup>-2</sup>提高到6万株·hm<sup>-2</sup>, 宽窄行行距为均匀垄处理的1.5倍, 适当增加密度有利于群体对光能的截获, 提高光能利用率。罗洋等<sup>[8]</sup>通过模型模拟得出宽窄行和均匀垄处理获得最高产的密度分别为7.04万株·hm<sup>-2</sup>和6.32万株·hm<sup>-2</sup>, 本试验中宽窄行较高的透光率也证实了其仍具有很大的密度提升空间, 现有密度(6万株·hm<sup>-2</sup>)仍存在一定的漏光损失, 并且该密度更接近于均匀垄处理的最佳密度, 这也可能是限制宽窄行处理产量发挥, 导致产量差异不显著的原因。综合得出<sup>[12,6-9]</sup>, 宽窄行处理与常规均匀垄处理比较, 明显改善了土壤物理性状, 紧实度和土壤容重显著降低, 且深松打破了犁底层, 旋耕碎土既平整土壤表面, 又切断了土壤表层毛细管, 避免了土壤深层水分蒸发, 为作物生长创造了一个良好的耕层结构, 多年留茬还田显著增加了土壤有机质, 促进了作物生长发育, 宽窄行处理较常规均匀垄处理具有更大的产量优势, 但不适宜的品种、密度和年型(如多雨、少雨)会限制其产量潜力的发挥。

#### 4 结论

与常规均匀垄处理相比, 宽窄行处理显著降低了0~45 cm土层的土壤紧实度, 两耕作处理在不同土层间差异呈先增加后减小的趋势, 在不同生育期间差异呈逐渐降低最后趋于稳定的趋势。宽窄行处理具有打破犁底层、改善土壤结构等作用, 同时增加了根系在30~45 cm土层的分配比例, 有利于根系向深层生长, 但总根量有所下降, 不同品种和种植当年降雨情况均会对宽窄行处理根系生长产生影响。在6万株·hm<sup>-2</sup>种植密度下, 宽窄行和均匀垄处理透光率均随生育进程逐渐减小, 在整个生育时期, 宽窄行处理透光率明显高于均匀垄处理, 在宽行间

差异更明显。宽窄行处理可以通过缩小株距增加密度, 促进群体对光合有效辐射的截获, 从而近一步提高光能利用效率。

#### 参考文献

- [1] 高旺盛, 陈源泉, 董文. 发展循环农业是低碳经济的重要途径[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(5): 1106-1109
- [2] Monneveux P, Quillérrou E, Sanchez C, et al. Effect of zero tillage and residues conservation on continuous maize cropping in a subtropical environment (Mexico)[J]. Plant and Soil, 2006, 279(1/2): 95-105
- [3] Roldán A, Caravaca F, Hernández M T, et al. No-tillage, crop residue additions, and legume cover cropping effects on soil quality characteristics under maize in Patzcuaro watershed (Mexico)[J]. Soil and Tillage Research, 2003, 72(1): 65-73
- [4] 张彬, 白震, 解宏图, 等. 保护性耕作对黑土微生物群落的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 83-88
- [5] 吴玉红, 田霄鸿, 南雄雄, 等. 基于因子和聚类分析的保护性耕作土壤质量评价研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 223-228
- [6] 刘武仁, 边少锋, 郑金玉, 等. 玉米宽窄行种植的土壤环境变化研究[J]. 玉米科学, 2002, 10(4): 52-55
- [7] 刘武仁, 郑金玉, 罗洋, 等. 东北黑土区玉米保护性耕作技术模式研究[J]. 玉米科学, 2007, 15(6): 86-88
- [8] 罗洋, 郑金玉, 郑洪兵, 等. 宽窄行与常规耕作方式下玉米种植密度的研究[J]. 吉林农业科学, 2010, 35(5): 8-9
- [9] 刘武仁, 郑金玉, 冯艳春, 等. 玉米宽窄行交替休闲保护性耕种的土壤水分变化规律研究[J]. 玉米科学, 2006, 14(4): 114-116, 124
- [10] 刘武仁, 郑金玉, 罗洋, 等. 玉米宽窄行种植技术的研究[J]. 吉林农业科学, 2007, 32(2): 8-10, 13
- [11] 黄高宝, 郭清毅, 张仁陟, 等. 保护性耕作条件下旱地农田麦-豆双序列轮作体系的水分动态及产量效应[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1176-1185.
- [12] 刘武仁, 冯艳春, 郑金玉, 等. 玉米宽窄行种植产量与效益分析[J]. 玉米科学, 2003, 11(3): 63-65
- [13] 高阳, 段爱旺. 冬小麦-春玉米间作模式下光合有效辐射特性研究[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(4): 115-118
- [14] 李艳大, 汤亮, 张玉屏, 等. 水稻冠层光合有效辐射的时空分布特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4): 952-958
- [15] 初振东, 李少昆, 谢瑞芝, 等. 东北春玉米区耐老化膜常年覆盖种植模式研究初探[J]. 玉米科学, 2007, 15(3): 110-113