

# 农林复合系统中林带和作物的根系分布特征

马秀玲<sup>①</sup> 陆光明 徐祝龄 宋兆民 孟平 张劲松  
(资源与环境学院) (中国林业科学院)

**摘 要** 本文从农林复合系统角度探讨了杨树林带和小麦根系分布特征。结果认为:林带根系分布水平伸展至 $1.5H$ ( $H$ 为树高)范围内,尤以 $0.5H$ 范围内树根最为集中,并且90%以上根系集中于 $0\sim 100$  cm土层内,其中 $20\sim 60$  cm土层为根系密集区。树根二维分布可用二次多元非线性回归方程来描述。与杨树根系分布趋势相反,小麦根系则越靠近林带越少,且其根系密集区主要在 $0\sim 20$  cm土层内,与杨树根系密集区位置上下错开。讨论了土壤水分状况、林带遮荫与根系分布的关系以及林带附近的作物生产效能。

**关键词** 农林复合系统; 林带; 根系的分布特征

**中图分类号** S727.24

## Distribution Characteristic of the Root System of Forest Belt and Crop Within the Composite System of Agriculture and Forestry

Ma Xiuling Lu Guangming Xu Zhuling  
(College of Resources and Environment)

Song Zhaomin Meng Ping Zhang Jinsong  
(Academy of Chinese Forestry Science)

**Abstract** Proceeded from the composite system of agriculture and forestry, this article discussed the distribution characteristic of the root system of the poplar forest belt and winter wheat. The results indicated that, the horizontal distribution of root system of forest belt stretched to the range of  $1.5H$  ( $H$  meant tree height), especially within the range of  $0.5H$  the root system of trees was the most, and that the root system above 90% was distributed within the soil layer of  $0\sim 100$  cm, in the range of  $20\sim 60$  cm the distribution of the root system was the most dense. The distribution of two dimensions of root system could be showed by double multiple unlinear regression equation. As opposed to the trend of the disitribution of root system of Poplar, the nearer the root system of winter wheat to the forest belt is, the less the root system will be, and that the dense range of root system is mainly situated in the soil layer of  $0\sim 20$  cm, its place and the place of the dense range of root system of poplar were staggered up and down. This article discussed also the relations between the state of the soil moisture, the sunshade of forest belt and the distribu-

收稿日期: 1995-08-10

①马秀玲,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

tion of root system. At last this article analysed briefly the crop production efficiency near the forest belt of polar.

**Key words** composite system of agriculture and forestry; forest belt; distribution characteristic of the root system

植物根系是植物体的吸收器官和代谢器官,也是对外界环境条件反应敏感的器官。其赖以生存的土壤条件如土壤水分、养分、温度、通气状况等直接影响根系生长和分布,影响根系吸收功能和代谢功能,进而影响植物地上部分的生长发育和产量。由于根系在产量形成中的重要作用,国内外不少学者十分重视作物根系的生长分布规律、根冠形态、生长发育等特征和自适应自调节功能以及根冠之间相互控制、互相反馈、依赖、竞争等消长关系的研究,并取得了若干有意义的结果<sup>[1~4]</sup>。关于树木(或林带)根系的研究,如曹新孙等指出,林带肋地作物减产主要是林木根系与作物争水的结果<sup>[5]</sup>;李勇等提出了黄土高原油松人工林根系改善土壤物理性质的有效性模式<sup>[6]</sup>;孙祥对沙冬青树根系分布与土壤水分、紧密度、含盐量及 pH 值等的关系进行了讨论<sup>[7]</sup>。综观前人工作,笔者认为,从农林复合系统角度来研究林带树木根系与作物根系的分布规律及它们之间的相互作用机理等方面做得还很不够。

本文重点则是探讨复合系统中林麦共生期间,林带附近树木根系与小麦根系的分布特征、相互关系及其对小麦生产的影响。

## 1 试区概况与研究方法

### 1.1 试区概况

试区位于河北饶阳县大官亭乡农林复合系统试验区内(115°33'E, 38°20'N),面积 847 hm<sup>2</sup>,以农田防护林网为主体,辅以林粮间作及成片用材林与经济林。测点设在试区中部南北相邻的两个林网东西向林带的中心线上(南北两侧)。本试验重点讨论林带北侧(图 1)。林带树种为毛白杨,一路二行,株行距 3 m×5 m,树龄 10 年,平均树高 17 m,冠幅 7.5 cm,胸径 26.0 m,枝下高 4 m,林带疏透度 0.4~0.6。林网内作物为冬小麦,品种农大 79。春季灌水三次,生产管理基本一致。

### 1.2 观测项目

**1.2.1 小麦根长密度与根干重的测定** 如图 1 所示,测点位置以距树高(H)倍数来度量。林带以北设四个测点,即距林带 0.5 倍(N0.5H)、1 倍(N1H)、2 倍(N2H)及 5 倍(N5H)树高处;林带以南设二个测点,即距林带 0.5 倍(S0.5H)和 1 倍(S1H)树高处。每点设两个重复。用体积为 453.65 cm<sup>3</sup> 的特制根钻分层取样(每 10 cm 为一层),测量根长密度和根干重。取样日期在

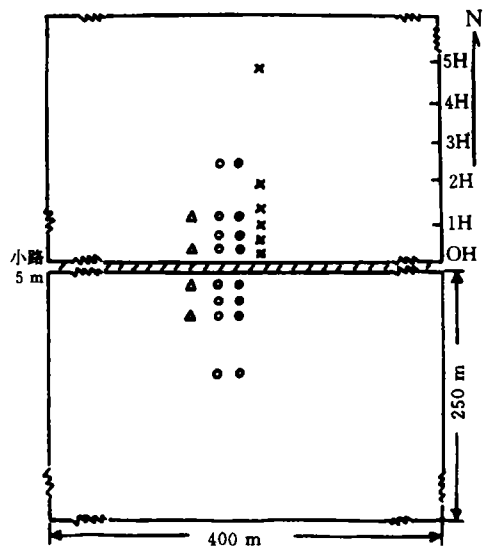


图 1 测点分布示意图

× 树木根系测点; • 土壤湿度测点; ○ 冬小麦生物量及根系测点; △ CO<sub>2</sub> 浓度与小气候测点

小麦拔节期(04-12), 孕穗期(04-24), 扬花期(05-12), 乳熟期(05-24)共四次。用交叉法测根长密度<sup>[8]</sup>:

$$L = \frac{11}{14} N \times l$$

式中:  $L$  为总根系长度, cm;  $N$  为根与纵横框格交叉点数;  $l$  为框格长度, cm。

**1.2.2 树木根长密度和根干重的测定** 于东西向林带北侧中心线附近, 在两棵长势相当的树木中间, 选 N0H, N0.25H, N0.5H, N1.0H 及 N1.5H 共五个测点(图 1)。每个测点测坑为东西长 80 cm, 南北宽 40 cm, 深 200 cm。分层取样, 表层 0~20 cm 每层厚 10 cm, 分别取长 40 cm, 宽 40 cm 东、西二个重复; 20~200 cm 每层厚 20 cm, 分别取长 40 cm, 宽 40 cm 东、西二个重复。测定土样中树根直径  $d \leq 1$  mm 的根吸水根长密度和根干重以及  $d > 1$  mm 的根干重。取样日期 1994-09-25~09-28。

**1.2.3 生物量测定** 小麦物候期分蘖动态, 茎、叶、干重、叶面积指数及产量构成要素等, 每 10 d 测一次。

**1.2.4 土壤温度测定** 测深 2 m, 每 10 d 一次。

**1.2.5 农田小气候测定** 在各测点活动面上的 1 m 处用天空辐射表进行总辐射与反射辐射测定; 同时于活动面上 0.5 m 及 2.0 m 处用轻便风速表与通风干湿表进行温、湿、风梯度观测、CO<sub>2</sub> 浓度梯度与光合强度, 用 L1-6200 型 CO<sub>2</sub> 仪测定。

小气候观测时间选择典型天气于当日 7~19 时, 每小时观测一次。

## 2 结果与分析

### 2.1 杨树林带根系分布

**2.1.1 根长密度( $L$ )** 本试验定直径  $d \leq 1$  mm 为吸水根, 其根长密度为  $L$ 。现分析杨树林

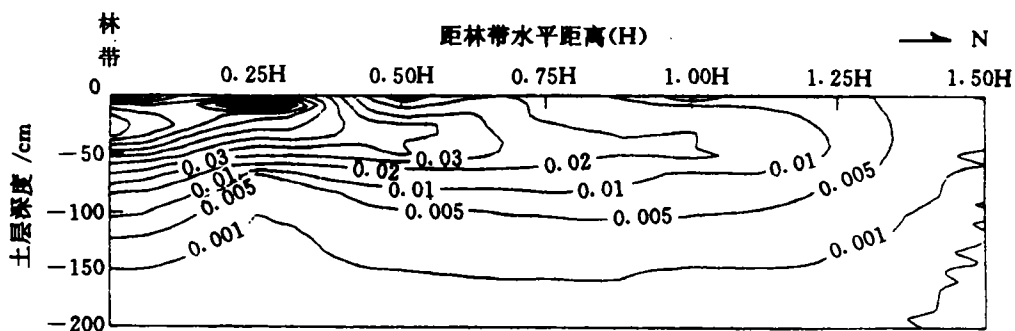


图 2 杨树林带吸水根系根长密度的二维分布

带北侧不同树高倍数处及不同深度的吸水根系分布特征。由图 2 可见, 越靠近林缘(指林带所处位置, 以 0H 表示)吸水根系  $L$  越大。在 0~200 cm 土层内, 若以 0H 为 100%, 则在 0.25H, 0.5H, 1H 和 1.5H 处的  $L$  分别为 81.8%, 22.4%, 13.7% 和 1.19%。表明杨树林带吸水根系大部分分布在 0.5H 以内, 尤其林缘-0.25H(即 4.25 m)附近最为密集。垂直方向上绝大部分集中在 0~100 cm 土层内。据统计, 林缘处 0~100 cm 土层内  $L$  占 0~200 cm

土层内  $L$  的 95.9%。0.25H, 0.5H, 1.0H 和 1.5H 分别为 97.5%, 94.1%, 91.9% 和 98.6%, 其中 20~60 cm 土层内所占份额较大, 在 40%~56% 之间, 是  $L$  密集区。对林带树根二维分布进行了多元非线性回归分析, 杨树林带  $L$  与距林带距离 ( $H$ ) 和土层深度 ( $Z$ ) 的回归方程为:

$$L = 0.1218 + 0.0302H^2 + 0.0006HZ - 0.1187H - 0.0014Z \quad (1)$$

复相关系数  $R = 0.8589$ , 经  $F$  检验极显著 ( $\alpha = 0.01$ )。

**2.1.2 根干重 ( $m$ )** 杨树林带直径  $d \leq 1$  mm 吸水根系干重 ( $m$ ) 随不同树高倍数和不同深度的二维分布也有类似上述特点, 如图 3。即越靠近林缘  $m$  越大且绝大部分集中在 0~100 cm 土层内。 $m$  与  $H$  和  $Z$  的非线性回归方程为:

$$m = 2.3119 + 0.6555H^2 + 0.0117HZ - 2.4659H - 0.0245Z + 0.0001Z^2 \quad (2)$$

复相关系数  $R = 0.9136$ ,  $F$  检验极显著 ( $\alpha = 0.01$ )。

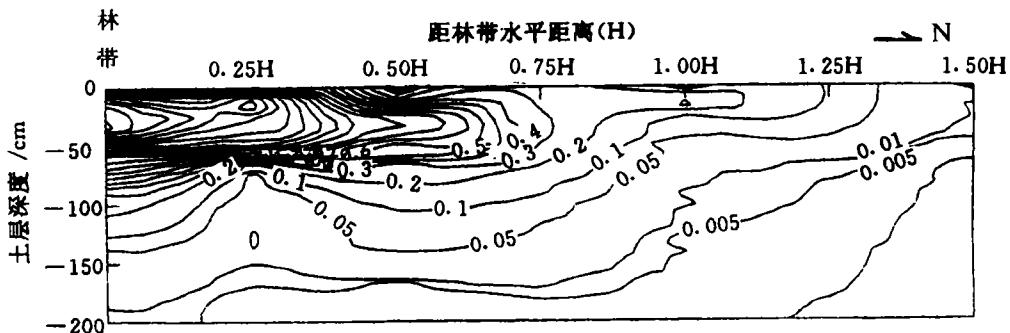


图 3 杨树林带吸水根干重的二维分布

## 2.2 林带附近小麦根系分布

**2.2.1 林带附近小麦根系的水平与垂直分布** 冬小麦属须根系, 由初生根和次生根组成。据研究其吸水吸肥功能没有明显区别, 通常在肥水充足、通气良好的耕层中有密集的根群。本试验观察表明, 在距林带不同树高倍数处,  $L$  越靠近林带越少, 与林带根系分布趋势相反。以拔节期 4 月 12 日调查为例, 在 0~100 cm 土层内 0.5H, 1H, 2H 和 5H 的  $L$  各占 0.5H~5H 总  $L$  的百分比分别是 16.0%, 22.2%, 31.5% 和 30.3%, 2H 和 5H 之间差别不大。其他发育期亦同 (表 1)。

表 1 不同处理根长密度 ( $L$ ) 占各点根长密度总和

%

日期	深度/cm	N0.5H	N1H	N2H	N5H
1994-04-12(拔节期)	0~80	16.0	22.2	31.5	30.3
1994-04-24(孕穗期)	0~90	17.4	25.1	25.2	32.3
1994-05-12(扬花期)	0~100	18.7	20.4	31.6	29.4
1994-05-26(乳熟期)	0~100	17.1	27.3	34.8	20.7

分析小麦根系在垂直方向上的分布 (以 04-12, 0.5H 处根系资料为例) 指出: 0~20 cm

土层的根长密度,约占 0~100 cm 土层的总根长密度的 87.2%,是根系密集区,而 20~50 cm 土层约占 9.2%,50~100 cm 土层更少,占 3.6%。他不同树高倍数处分布趋势相同,且越靠近林带密集区(0~20 cm)的密集程度越大。其他发育期亦同。

综上所述,农林复合系统中林带附近小麦根系分布主要特点是:靠近林带处根系减少,垂直方向上根系密集区在 0~20 cm,越靠近林带其密集程度越大。

**2.2.2 不同生育期内小麦根系分布** 已有研究表明,冬小麦返青以后到抽穗灌浆是生理机能旺盛时期。作为吸收和代谢器官,小麦根系生理机能活跃表现在根系生长数量增多及入土深度增加。本试验对拔节—收获期间四次调查表明,不同树高倍数处小麦 L 最大值都出现在开花期。如在 0~100 cm 土层内,0.5H 处 L 最大值为  $6.26 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ ,1H,2H,5H 最大值分别为  $6.83 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ , $10.56 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ 和  $9.85 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-3}$ 也出现在开花期。

L 随着小麦生育期进程不断向深层发展,在不同树高倍数处拔节期平均入土深度在 80 cm 左右,孕穗期深入到 90 cm 左右,开花期入土深达 100~110 cm 左右,乳熟期减少到 80~90 cm 左右。同样表明,开花期是根系生长能力最强,吸收面积最大的时期。但入土深度均比文献报道偏低,且根系密集区(0~20 cm)较通常(0~40 cm)更偏向地表。

**2.2.3 林带附近小麦根干重分布** 林带附近小麦根干重分布见表 2。不难看出,根干重分布规律与 L 相同。即在不同树高倍数处于开花期出现最大值;在不同发育期内均为靠近林缘处的根干重最小。同时期内 1H,2H,5H 根干重均大于 0.5H 处的根干重。

表 2 不同树高倍数处的根干重

日 期	g·cm <sup>-3</sup>			
	N0.5H	N1H	N2H	N5H
04-12(拔节期)	0.044 0	0.053 0	0.088 0	0.007 7
04-24(孕穗期)	0.061 0	0.086 0	0.095 0	0.009 9
05-12(扬花期)	0.064 0	0.104 0	0.114 6	0.105 8
05-26(乳熟期)				

### 2.3 林带附近树根和小麦根系的混合分布

从根系密集区来看,林带根系和小麦根系在垂直分布上,上下错开,即杨树吸水根系密集区在 20~60 cm 处而小麦根系密集区在 0~20 cm 处。在水平方向上,杨树吸水根系绝大部分分布在林缘附近到 0.5H 范围内,而小麦愈靠近林缘其根系愈少。

比较系统中树根和小麦根的 L,不难看出,在土壤表层和远离林缘处的小麦 L 远远大于杨树 L,而在土壤深层以及靠近林缘处的小麦根系逐渐减少,杨树根系渐多(表 3)。如孕穗期(04-24)小麦 L 与杨树 L 相比,在 0~20 cm 土层内,N0.5H 和 N1H 树高倍数处绝大部分是小麦根系,树/麦比仅为 3.2%与 1.7%;而在 20~60 cm 土层内 0.5H 与 1H 的种/麦比高达 225.5%与 25.3%。

表3 杨树L与小麦L比较

深度/cm	N0.5HL			N1HL		
	杨树	冬小麦(04-24)	树/麦(%)	杨树	冬小麦(04-24)	树/麦(%)
0~10	0.012	2.70	0.4	0.011	3.70	0.3
10~20	0.026	0.93	2.8	0.016	1.17	1.4
20~40	0.043	0.21	20.5	0.021	0.40	5.3
40~60	0.041	0.02	205.0	0.022	0.11	20.0
60~100	0.012	0.01	120.0	0.008	0.02	40.0

## 2.4 根系分布的影响因素

**2.4.1 土壤水分** 统计小麦返青(03-20)至收获(06-08)期间,各树高倍数处平均土壤湿度,表明在0H~N2H范围内,愈远离林带土壤湿度愈大。由表4可知,0~200 cm土层内,0H,N0.5H,N1H和N2H土壤水分贮存量依次为448.8 mm,534.2 mm,599.3 mm和625.7 mm。各不同深度0~20 cm,20~60 cm,60~100 cm也有类似规律。但N1H与N2H之间差异较小。此外,和表层0~20 cm土壤水分相比较20~60 cm土层土壤水分消耗多,在0~20 cm土层内,0H和N0.5H土壤水分分别是N1H的61.8%和90.6%,而20~60 cm土层内分别是50.6%和79.4%。即在林缘附近(0H)至0.5H范围内20~60 cm土层内是杨树吸水根密集区,其强大吸水耗水作用,使与其共生的小麦向下扎根受到限制。而在0~20 cm土层内因树根较少加上降水和灌溉的补充,小麦根系得以生长,并且随着远离林带树根减少,土壤水分相对增多,小麦根系增多。

表4 不同树高倍数处土壤水分

深度/cm	土壤水分含量/mm				占N1H百分比(%)		
	0H	N0.5H	N1H	N2H	0H	N0.5H	N1H
0~20	21.0	30.8	34.0	37.7	61.8	90.6	100
20~60	52.6	74.6	93.9	91.3	56.0	79.4	100
60~100	99.4	144.8	143.0	147.3	69.5	101.2	100
0~200	448.8	534.2	599.3	625.7	74.9	89.1	100

**2.4.2 林带遮荫** 林带北侧遮荫是影响其附近小麦生长的又一重要因素。根据理论计算<sup>[9]</sup>,从小麦返青(03-20)到收获前(06-08),饶阳县的可照时数达12~14.6 h。但是林带在太阳高度角和太阳方位角的综合影响下,形成遮荫,实际日照时间缩短了。以遮荫最严重的03-20日为例,该日可照时数约12 h,但在东西向林带北侧林缘至0.8H范围内,一天内无太阳直射光;在0.8~1.7H范围内也有一段时间无直射光。03-20以后,林带北侧荫影不断缩小,阴影时间也不断缩短,但仍有遮荫地带。如以遮荫影响最小的06-08日为例,在北侧0.1H—0.3H范围内仍约有6.6 h无直射光。

由于林带遮荫,太阳辐射量减小,温度也有下降。据05-18~19两天观测,N0.5H日净辐射量较N2H平均少34.5%,而又较林带南侧S0.5H少33.8%。相应活动层两天平均气温N0.5H比林带南侧的S0.5H低0.5℃。长期的低温寡照使小麦生长受到影响,光合作用、

蒸腾作用等生理活动减弱,根系对土壤水的吸收缓慢,土壤水消耗减少,使遮荫地带土壤含水量高于未遮荫地。如在小麦生育期内(03-20~06-08),无论是在土壤表层(0~20 cm)或是20~60 cm,或其他土层内的土壤含水量林带北侧均高于南侧。L 则是北侧小于南侧。如拔节期 N0.5H 和 N1H,L 分别为 2.74 和 3.71;南侧 S0.5H 和 S1H 分别为 3.19 和 4.41。

## 2.5 林带对其附近作物的影响

由于共处于一个系统中的林带根系与小麦根系的相互作用,特别是林带根系与小麦根系存在着明显的争水、争肥矛盾,导致林带附近(尤其是 1 倍树高以内)小麦产量明显下降,且越近林带越低。林带北侧的 N0.5H 的产量低于林带南侧 S0.5H 的产量。分析林带附近的小麦光合强度(PH)、水分利用效率(WUE)以及光能利用率(E)的结果表明(图 4),这些参数的分布趋势与小麦产量的分布是相一致的,但与前述的林带根系根量的水平分布呈相反的趋势。

## 3 结论

本文从农林复合系统角度探讨了杨树林带和小麦根系分布特征及其对小麦产量的影响,得到如下结果:

①杨树林带吸水根 L(或干重)和深度及距林带水平距离(指林带北侧)的二维分布特征是越靠近林缘吸水根越多,其水平伸展主要在 0.5H 范围内,至 1.5H 处 60 cm 土层以下已无根系,其总根量仅相当于林缘(0H)处根量的 1.19%。垂直分布规律是 90% 以上根系分布于 0~100 cm 土层中,其中又以 20~60 cm 土层为根系密集区。上述分布特征可近似用二次多元非线性回归方程来描述。

②与树根根系分布趋势相反,小麦根系则越靠近林带越少。垂直方向上根系密集区主要在 0~20 cm 土层内,约占 0~100 cm 土层总根量的 80% 以上。尤其越靠近林带,0~20 cm 土层内小麦根系密集程度越大。不同生育期内,小麦以开花期根量为最大。

③同处于一个系统中的小麦和杨树根系垂直层次上密集区位置上下错开,且越近林缘越明显。表明,由于杨树根系的影响,小麦根系密集区主要局限于 0~20 cm 土层内。

④土壤水分平均状况,表现为越近林带,土壤水分含量越少,这与林带根系的水平分布趋势相对应。

⑤林带两侧约一倍树高范围内,北侧小麦的 L 明显小于南侧,南侧土壤水分消耗多,平均土壤水分低于北侧。

⑥由于林带根系分布的影响,越靠近林带其作物产量越低,尤以北侧 0.5H 最低。反映作物生产效能的光合强度、水分利用效率及光能利用率等与产量分布趋势一致。

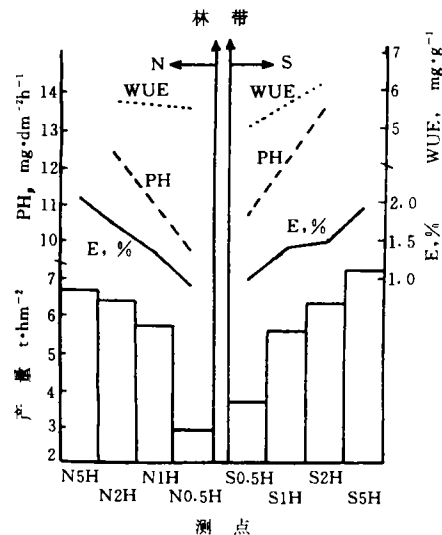


图 4 作物生产效能图

河北省林科所张均营、吴丙奇参加了部分田间试验工作,特此致谢。

### 参 考 文 献

- 1 马元喜等. 不同土壤对小麦根系生长动态的研究, 河南农业大学学报, 1987, 13(1): 37~44
- 2 冯广龙等. 控制根冠比的干物质分配模型, 土壤水和养分的有效利用. 北京: 北京农业大学出版社, 1994, 83~90
- 3 陈培元等. 冬小麦根系研究. 陕西农业科学, 1980, (6): 1~6
- 4 姚建文. 作物生长条件下土壤含水量预测的数学模型. 水利学报, 1989, 32~38
- 5 曹新孙等. 林带肋地原因的探讨. 中国科学院林业土壤研究所集刊, 1964, 第五集: 21~26
- 6 李勇等. 黄土高原油松人工林根系改善土壤物理性质的有效性模式. 林业科学, 1993, 29(3)
- 7 孙祥等. 沙冬青根系的研究. 干旱区研究, 1994, 53~56
- 8 伯姆(Bohm W.). 薛德裕等译. 根系研究法. 北京: 科学技术出版社, 1985
- 9 董宏儒等. 带田农业气候资源的利用. 北京: 气象出版社, 1988, 13~45

(上接第 64 页)

6A 染色体被 Cheyenne 的 3A 和 6A 染色体代换后, 千粒重分别提高 3.8% 和 6.5%, 说明 Cheyenne 的 3A 和 6A 染色体上具有提高千粒重的 QTL。染色体 3A 和 6A 的杂合体, 千粒重分别比 Wichita 提高 6.7% 和 7.5%, 比 3A 和 6A 的纯合代换系分别提高 2.8% 和 0.9%。当 3A 和 6A 都处于杂合时, 千粒重比 Wichita 提高 13.3%, 比 3A 染色体杂合体提高 9.2%, 比 6A 染色体杂合体提高 6.4%, 两条染色体杂合体比单条染色体杂合体平均提高 7.8%。当 Wichita 的 3A 和 6A 染色体被 Cheyenne 代换后产量分别降低 21.1% 和 13.4%, 说明在 Wichita 的 3A 和 6A 染色体上具有提高产量的 QTL。当染色体 3A 杂合时, 产量比 Wichita 提高 1.3%, 比 3A 纯合代换系提高 26.5%, 染色体 6A 杂合时, 产量与 6A 纯合代换系相近。当染色体 3A 和 6A 都杂合时, 产量比 Wichita 提高 10.2%, 比 3A 杂合体提高 8.8%。上述结果表明, QTL 杂合时可以表现出杂种优势, 而且随着杂合 QTL 位点的增加, 杂种优势有进一步提高的趋势。这说明, 杂种优势的表达更重要的是与控制有关性状的 QTL 杂合性有关。