

# 钾肥对冬小麦根系营养生态的影响\*

熊明彪<sup>1,2,3</sup> 田应兵<sup>1</sup> 熊晓山<sup>1</sup> 宋光煜<sup>1†</sup> 雷孝章<sup>3</sup> 曹叔尤<sup>3</sup>

(1 西南农业大学资源环境学院, 重庆北碚 400716)

(2 四川省水土保持生态环境监测总站, 成都 610041)

(3 四川大学高速水力国家重点实验室, 成都 610065)

**摘要** 在国家紫色土肥力与肥料效益监测基地上, 研究了钾肥对冬小麦根系营养生态的影响。结果显示: 在 N、NP 基础上增施钾肥明显提高冬小麦根系钾素含量, 增大根表面积, 提高根系活力和根干物重, 促进根系生长, 增加深层土(40~100 cm)根系的生态分布, 改善根冠比。根系活力、深层根量、根长、根表面积和根干物重等与冬小麦籽粒产量显著相关, 达到显著或极显著水平(相关系数  $r$  分别为 0.926<sup>\*</sup>、0.865<sup>\*</sup>、0.846<sup>\*</sup>、0.893<sup>\*</sup>、0.996<sup>\*</sup>,  $r_{0.01}$  = 0.874,  $r_{0.05}$  = 0.754), 由此可见, 钾素营养对冬小麦根系营养生态的改善有利于小麦籽粒产量的提高。

**关键词** 钾素营养; 根系营养生态; 冬小麦; 紫色土

中图分类号 S143.3 文献标识码 A

根系作为植物重要的吸收器官和代谢器官, 它生长发育直接影响到地上部茎叶的生长和作物产量的高低。根系作为土壤—植物系统的重要组成部分<sup>[1]</sup>, 其研究受到了科学工作者们<sup>[1~5]</sup>的普遍重视。目前有关植物根系的研究报道较多, 如施肥<sup>[6~10]</sup>、土壤含水量<sup>[11,12]</sup>、栽培措施<sup>[13]</sup>等对植物根系生长影响的研究。但这些研究绝大多数是在盆栽或水培条件下进行的, 就大田生长状况下作物根系的研究资料较缺乏, 这可能是由于从大田中获取正在生长发育作物根样工作繁琐, 对其进行准确测试也比较困难<sup>[5,14]</sup>。同时, 有关施钾能否促进作物根系生长的研究报道较少且现有的资料尚有着相矛盾的结论<sup>[6]</sup>。为此, 本文在西南农业大学国家紫色土肥力与肥料效益监测基地上, 研究钾素对冬小麦根系营

养生态的影响, 以期在紫色土上合理施肥促进小麦根系在土壤中良好分布、小麦产量的提高提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料及田间试验设计

试验于 2000 年 11 月至 2001 年 5 月在西南农业大学国家紫色土肥力与肥料效益监测基地多年(9 年)稻麦水旱轮作定位试验小区进行。供试土壤为侏罗纪沙溪庙组紫色泥、页岩发育而成的紫色土(类), 中性紫色土亚类、灰棕紫泥土属。供试小麦为西农麦 1 号。供试基础土壤(1991 年)的基本农化性状见表 1。

表 1 供试基础土壤的基本农化性质

Table 1 The agricultural chemical properties of soil for experiment

土层 Depth (cm)	速效钾 Avail. K (mg kg <sup>-1</sup> )	缓效钾 Slowly avail. K (mg kg <sup>-1</sup> )	有机质 O. M. (g kg <sup>-1</sup> )	全氮 Total N (g kg <sup>-1</sup> )	全磷 Total P (g kg <sup>-1</sup> )	全钾 Total K (g kg <sup>-1</sup> )	有效磷 Avail. P (mg kg <sup>-1</sup> )	CaCO <sub>3</sub> (g kg <sup>-1</sup> )	pH	交换量 CEC (cmol(+) kg <sup>-1</sup> )
0~20	88.2	562.0	23.9	1.30	0.73	21.1	4.3	0.59	7.7	20.3
20~40	85.0	554.0	23.9	1.35	0.52	20.2	4.7	0.26	7.7	21.2

\* 本文系第一作者博士论文部分结果

† 通讯作者

作者简介: 熊明彪(1973~), 男, 四川达县人, 博士。主要从事植物营养、生态建设, 水土保持监测、监理等方面研究和管理工作

收稿日期: 2002-07-22; 收到修改稿日期: 2003-03-21

试验处理为长期定位试验处理方案的一部分,即:(1)CK、(2)M<sub>1</sub>(文中表述为M)、(3)N、(4)NK、(5)NP、(6)NPK、(7)M<sub>2</sub>NPK(文中表述为MNPK)共7个处理,小区面积为120 m<sup>2</sup>。第1处理为对照(只种作物不施肥),第2处理为仅施有机肥处理,3~6处理为化肥试验区,第7处理为有机肥与化肥配合试验区。氮、磷、钾肥分别为尿素、普钙、硫酸钾,每季每hm<sup>2</sup>用量1991~1997年为N 150 kg、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75 kg、K<sub>2</sub>O 75 kg,从1997年秋季起,每季每hm<sup>2</sup>磷、钾肥用量,由原来的75 kg改为60 kg;小麦氮肥用量改为135 kg;水稻氮肥仍为150 kg。M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>为有机肥,其中M<sub>1</sub>代表猪粪,1991~1997年每年用量22500 kg hm<sup>-2</sup>,1997年秋季起改为稻杆还田,每年用量7500 kg hm<sup>-2</sup>;M<sub>2</sub>代表稻杆还田,每年用量7500 kg hm<sup>-2</sup>。小麦60%的氮肥及全部磷、钾肥作基肥,40%氮肥于3~4叶期追施。水稻70%氮肥及全部磷、钾肥作基肥,30%氮肥于播秧后2~3周追施。有机肥全部作基肥施用,并于施用前测定其氮、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、钾(K<sub>2</sub>O)含量。由于长期定位试验小区未设置重复,因而采样时将各小区划分为面积相等的四小块,每小块进行多点采样,以降低因采样带来的误差。

## 1.2 取样及测定

**1.2.1 冬小麦各生育期采样** 五叶期、拔节期、孕穗期、开花期和成熟期分5次用挖掘法采样,具体操作如下:将各小区均等划分为4小块,每小块中选择3株进行挖掘;挖起每株四周面积400 cm<sup>2</sup>(根据种植密度而定)深度足够的土柱,充分浸泡后于大圆筛中冲洗,保留筛中所有根系(即为每株根量),并认真观察每株根尖数。根长采用经Tennant和Marsh改进后的Newmen方格交叉法<sup>[15-16]</sup>测定。根半径、根表面积利用公式<sup>[6]</sup>(1)和(2)进行计算。根系活力采用TTC法<sup>[17]</sup>测定。

$$r = \sqrt{\frac{W}{\pi L}} \quad (1)$$

$$S_{\text{根}} = 2\pi r L \quad (2)$$

式中, $L$ 为根长(cm); $r$ 为根半径(cm); $W$ 为根鲜重(g); $\pi$ 为常数3.1416; $S$ 为根表面积(cm<sup>2</sup>)。

为了控制方格交叉法测定根长可能带来的较大误

差,将采集的小麦根系随机取5小部分实际测长,然后将这5部分根系再用方格交叉法进行测长,之后求出两种方法的偏差,以此作为校正系数对方格交叉法测定结果进行校正。这样,误差就会得到有效控制。

**1.2.2 根系在土层中分布的测定** 小麦开花期用土钻法进行采样,具体操作:将各小区如前所述划分为4小块,分别于每小块中0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm、60~80 cm、80~100 cm 5个层次用直径为8 cm的土钻进行多点采样,所取土样分别装入孔径为1 mm的尼龙网袋中进行冲洗,保留根系并进行根长和根重的测定。

**1.2.3 籽粒产量** 小麦收获时每小区按前述选择四样方(面积为1 m<sup>2</sup>)测产。

## 2 结果与分析

### 2.1 施钾对冬小麦根系生长的影响

与对照相比,不同施肥措施对冬小麦根长、根表面积、根半径、根重、根系活力、根尖数量等均有不同程度的积极影响(表2)。在单氮(N)处理基础上增施钾肥(NK),冬小麦鲜根重增加50.3%,根长增加41.5%,根表面积增加45.9%,根系活力(每克鲜根单位时间内还原氯化三苯基四氮唑的能力)提高70.6%;在氮、磷基础上增施钾肥(NPK),冬小麦鲜根重增加24.8%,根长增加30.4%,根表面积增加27.8%,根系活力提高60.2%;在NPK基础上配施有机肥,冬小麦根长、鲜根重、根半径、根表面积、根系活力均不同程度的提高,其中鲜根重、根半径、根表面积增加达到显著水平。以上结果说明施钾能明显促进冬小麦根系的生长发育,增大其与土壤的接触面积和促进根系代谢,从而全面提高冬小麦吸收养分和水分、抗旱和抗倒伏的能力。有机肥配施化学N、P、K肥,能进一步提高冬小麦各方面的能力,这主要由于长期有机肥配施化学肥料,增加和更新了土壤有机质<sup>[18]</sup>,改良了土壤的理化性质<sup>(1)</sup>。此外,有机肥还能带入大量的N、P、K及微量元素<sup>[19]</sup>,并为土壤微生物提供充足C、N源,刺激微生物活动,提高土壤酶活,从而全面提高了土壤肥力。

(1) 熊明彪. 长期施肥条件下紫色土—小麦系统中钾素利用的研究. 西南农业大学博士学位论文, 2002

表 2 施钾对冬小麦根系生长的影响<sup>1)</sup> (每株)

Table 2 Effects of K application on wheat root growth (Per plant)

处理 Treatments	根长 (cm) Length of roots	鲜根重 (g) F.W. of roots	根半径 (cm) Mean radius of roots	根表面积 (cm <sup>2</sup> ) Surface area of roots	根系活力 Activity of roots ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )	根尖 Tip of roots
CK	2447.7 d	3.12 f	0.0201 c	309.13 f	131.7 e	+
N	2732.7 c	3.14 f	0.0191 e	327.95 f	156.3 d	++
M	2683.2 c	3.62 e	0.0207 b	348.99 e	136.7 e	+
NK	3866.8 a	4.72 c	0.0197 d	478.63 c	266.7 b	++
NP	3018.5 b	4.04 d	0.0206 b	390.69 d	198.7 c	+++
NPK	3935.2 a	5.04 b	0.0202 c	499.46 b	318.3 a	++++
MNPK	3975.4 a	5.88 a	0.0216 a	539.53 a	320.5 a	++++

1) 测定时期: 小麦孕穗期 Sampling period: Ear forming stage. “++++”代表根尖多,“+++”中,“++”少,“+”极少 In the table, “++++” stands for many root tip, “+++” for mediate, “++” for few, “+” for very few. 每列数据标有不同字母者表示差异显著(SSR法,  $p < 0.05$ ) Values in the same column followed by different letters are significantly different

## 2.2 施钾对冬小麦根系中钾含量的影响

植物根的重要作用之一就是吸收土壤中的养分和水分。表 3 资料显示, 不同施钾处理对冬小麦不同时期根系钾素含量产生了较明显的影响, 施钾处理(NK、NPK、MNPK) 冬小麦各时期根系钾素含量明显高于不施钾(CK、N、M、NP) 处理。经相关分析发现, 冬小麦孕穗期根系钾素含量与根长、根表面积和

根系活力显著相关(相关系数  $r$  分别为 0.792<sup>\*</sup>、0.800<sup>\*</sup> 和 0.762<sup>\*</sup>,  $r_{0.05} = 0.754$ ; 回归方程分别为  $y_{\text{根长}} = 291.62x + 160.77$ ,  $y_{\text{根表面积}} = 38.324x + 5.664$  和  $y_{\text{根系活力}} = 35.821x - 157.76$ )。由此可见, 施钾能明显提高冬小麦根系钾素含量, 提高根土接触面积、根系活力和促进根系生长发育。

表 3 施钾对冬小麦不同生育期根系钾素含量的影响

Table 3 Effects of K application on K content in roots of winter wheat in different growth stage ( $\text{g kg}^{-1}$ )

处理 Treatments	五叶期 Five leaf stage	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Ear forming stage	开花期 Flowering stage	成熟期 Ripening stage
Ck	8.73 e	10.91 cd	9.54 b	7.83 c	7.56 d
N	8.01 e	11.16 c	10.06 cd	8.10 c	7.89 cd
M	10.75 d	12.20 c	10.90 bc	9.11 b	8.40 c
NK	12.32 c	13.70 b	11.89 ab	9.48 b	8.26 c
NP	7.10 f	9.71 d	6.75 e	7.43 c	7.40 d
NPK	13.24 b	15.40 a	11.76 ab	11.28 a	9.20 b
MNPK	14.37 a	16.55 a	12.85 a	10.65 a	10.57 a

注: 每列数据标有不同字母者表示差异显著(SSR法,  $p < 0.05$ ) Values in the same column followed by different letters are significantly different

## 2.3 施钾对冬小麦根干物重的影响

表 4 是不同施肥措施冬小麦不同生育期根干物重变化结果。从表中可知, 各处理冬小麦根干物重变化的趋势是一致的, 即从五叶期开始根重逐渐增加, 在孕穗期达到最大, 随后根重逐渐下降, 到成熟期根量明显减少, 这与魏虹等<sup>[11]</sup> 研究结果类似。从成熟期较孕穗期根重减少幅度来看, CK、M 两处理降幅最大, 分别为 48.8% 和 50.5%; N、NK、NP 三处

理降幅分别为 21.5%、27.5% 和 24.6%; NPK、MNPK 两处理降幅最少。从五叶期、拔节期、孕穗期、开花期、成熟期五个时期的根干物重来看, MNPK、NPK 两处理均明显高于其它各处理, 这可能是因为多年连续不施磷肥(NK 处理)、钾肥(NP 处理)、磷钾肥(N 处理)、氮磷钾肥(CK、M 两处理), 土壤 N、P、K 不断被消耗, 致使以上各处理相应元素缺乏, 影响冬小麦根系的正常生长发育。以上结果表明, MNPK、NPK

配施不仅能维持土壤 N、P、K 的平衡,使冬小麦根系得以正常生长发育,而且能够维持冬小麦生育后期

较高的根量,这对小麦籽粒的灌浆和粒重的形成具有重要意义。

表 4 施钾对小麦不同生育期根干物重的影响( $\text{g 株}^{-1}$ )

Table 4 Effects of K application on the root dry weight of winter wheat in different growth stage ( $\text{g plant}^{-1}$ )

处理 Treatments	取样时期 Sampling period				
	五叶期	拔节期	孕穗期	开花期	成熟期
	Five leaf stage	Jointing stage	Ear forming stage	Flowering stage	Ripening stage
CK	0.051 d	0.364 bc	0.621 c	0.513 c	0.318 d
N	0.064 bc	0.211 d	0.480 d	0.415 d	0.377 d
M	0.052 d	0.342 c	0.701 c	0.532 c	0.347 d
NK	0.060 cd	0.515 b	1.024 b	1.038 b	0.742 c
NP	0.068 bc	0.543 b	1.307 b	1.041 b	0.985 b
NPK	0.074 ab	0.669 a	2.561 a	2.222 a	2.180 a
MNPK	0.084 a	0.666 a	2.543 a	2.301 a	2.263 a

注: 每列数据标有不同字母者表示差异显著(SSR法,  $p < 0.05$ ) Values in the same column followed by different letters are significantly different

## 2.4 施钾对冬小麦根系在不同土层生态分布的影响

研究结果表明(图1、图2),不同处理的根量在土层中具有相似分布特点,即大量根系分布在土壤表层(0~20 cm),其次是20~40 cm,40 cm以下各层根密度明显减少。尽管根长密度(图1),根重密度(图2)随土层深度的分布规律具有一致性,但不同的施肥处理间根系在土层中的分布仍有明显差异。就根长而言,CK、N、M三处理冬小麦上层根(0~40 cm土层)分别占84.3%、85.4%和84.5%,而NK、NP、NPK、MNPK四处理上层根则分别占77.0%、75.9%、74.7%和72.7%,平均比CK、N、M三处理少约10个百分点,反过来说, NK、NP、NPK、MNPK四处理下层根(40~100 cm)占百分率比CK、N、M三处理高约10个百分点;同样,根重在土层中的分布也呈现与根长一样的特征,即CK、N、M三处理上层根重明显大于NK、NP、NPK、MNPK四处理。但从0~40 cm土层根长和根重的绝对量看, NK、NP、NPK、MNPK四处理平均比CK、N、M三处理高65.2%和68.5%。由此可见,施钾、磷肥不仅能增加冬小麦上层根的分布数量,还能促进根系向深层生长,增加深层根的分布数量,提高小麦对深层土壤水分、养分的吸收利用能力,这对冬小麦产量的提高具有重要意义。据郝晓玲等研究表明,小麦产量与深层根关系密切<sup>[10]</sup>。

## 2.5 施钾对冬小麦根冠比的影响

根系生长所需的养分来自于地上部茎叶的合成,而茎叶生长则需要根系不断从土壤中吸收水分、矿质元素及合成有关物质来维持。根系生长的快慢与地上部光合产物的积累成反比<sup>[20]</sup>。根冠比的大

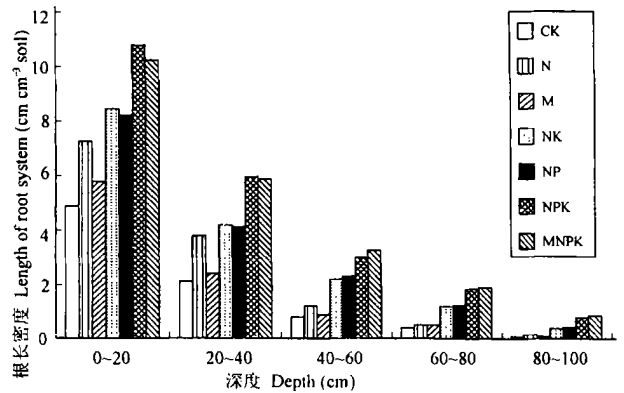


图1 施钾对冬小麦根系在不同土层中根长密度的影响(开花期)

Fig. 1 Effects of K application on density of winter wheat root in different soil layers (Flowering stage)

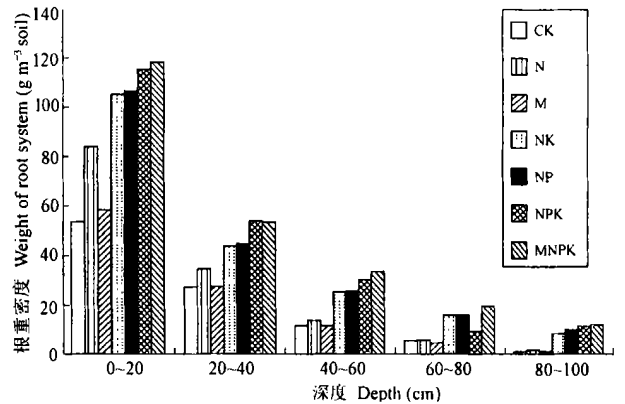


图2 施钾对冬小麦根系在不同土层中根重密度的影响(开花期)

Fig. 2 Effects of K application on weight of winter wheat root in different soil layers (Flowering stage)

小可以反映干物质在地下、地上部分的分配协调状况, 较小的根冠比有利于高产。表 5 显示了不同施肥处理在冬小麦不同生育期内根冠比的变化动态。从中可看出, 随着冬小麦的生长发育, 根冠比逐渐下降, 说明干物质逐渐由地下部向地上部转移。比较各处理之间的差异, 五叶期时各处理根冠比差异不明显, 拔节期各处理根冠比的大小顺序为 CK > M > N

> NK、NP > NPK > MNPK, 到成熟期时 CK、N、M 3 处理根冠比最高, NK、NP 两处理居次, NPK、MNPK 两处理最低。由此可见, CK、N、M 3 处理根系在冬小麦整个生育期内消耗的能量最多, 减少了光合产物在地上部分的积累, 这必然影响到地上部分的生长和最终产量。NPK、MNPK 两处理的根冠比特征说明光合产物有利于地上部分的分配, 有利于冬小麦高产。

表 5 施钾对冬小麦根冠比的影响

Table 5 Effects of K application on the root/shoot ratio of winter wheat

处理 Treatments	取样时期 Sampling period				
	五叶期 Five leaf stage	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Ear forming stage	开花期 Flowering stage	成熟期 Ripening stage
CK	0.528	0.484	0.389	0.354	0.308
N	0.532	0.457	0.372	0.342	0.311
M	0.551	0.468	0.393	0.338	0.309
NP	0.541	0.389	0.318	0.257	0.202
NPK	0.538	0.395	0.305	0.253	0.215
MPK	0.533	0.348	0.263	0.191	0.188
MNPK	0.542	0.321	0.258	0.189	0.182

## 2.6 施钾对冬小麦籽粒产量的影响

各处理冬小麦籽粒产量, NPK、MNPK 两处理最高, 达到  $2\ 431.4\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 、 $2\ 503.9\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ ; NK、NP 两处理次之, 为  $1\ 432.1\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 、 $1\ 489.5\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ ; CK、N、M 3 处理最低, 仅为  $1\ 089.3$ 、 $1\ 123.7$  和  $1\ 093.8\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 。说明在紫色土上进行 N、P、K 化学肥料的配合施用, 是作物高产的重要手段。通过冬小麦籽粒产量与不同生育期根干物重的相关分析发现, 冬小麦最终的籽粒产量与开花期根干物质相关性达极显著水平 ( $r = 0.996^{**}$ ,  $r_{0.01} = 0.874$ , 回归方程为:  $Y = 706.630\ 0 + 771.184\ 5X$ ), 而与其它时期的相关性较差。由此可见, 生长后期保持足够的根量对冬小麦高产具有重要意义。

## 3 结论与讨论

作物根系作为根-土系统中的重要组成, 历来受到研究者的重视<sup>[1~5]</sup>。在营养元素亏缺条件下, 根系生长通常快于地上部分生长, 即保持较高的根冠比, 这是因为根系从土壤中所获得的营养和水分将优先保证根系生长的需要, 但有研究者认为<sup>[21]</sup>, 作物根系增长并不一定意味着作物高产。因为从种群生态学角度来讲, 在资源一定的情况下, 植

物将获得的有限资源向某一器官分配的增加必然造成对其它器官分配的减少。因此, 如何合理地将资源分配给根和地上部, 对作物高产具有重要意义。本研究结果表明, 多年施肥特别是氮磷钾配施和有机肥氮磷钾配施能使冬小麦整个生育期干物质在根系和茎叶的分配较为合理, 随生育进程根冠比逐渐下降, 保证了后期干物质向地上部的转移, 对作物产量的提高具有积极作用。

作物根系的生长发育除遗传因素影响外, 还受环境和竞争等因素的制约<sup>[22]</sup>。本文研究结果表明, 在 N、NP 基础上增施钾肥, 能够提高根系中钾素含量, 促进根系的生长发育, 提高根系活力, 增大根系与土壤的接触面积, 促进根系向深层土壤生长。小麦根系这些性状的改善均对籽粒产量的提高产生了积极影响。据研究小麦根系活力与籽粒灌浆强度呈显著正相关<sup>[23]</sup>, 深层根量与产量关系密切<sup>[10]</sup>。本研究结果也表明根系活力、深层 (40~100 cm) 根量与小麦籽粒产量关系密切 (相关系数为  $0.926^{**}$ 、 $0.865^{*}$ ,  $r_{0.01} = 0.874$ ,  $r_{0.05} = 0.754$ ), 同时试验结果也显示, 小麦根系的长度、根表面积与籽粒产量均呈极显著正相关 (相关系数为  $0.911^{**}$ 、 $0.947^{**}$ ,  $r_{0.01} = 0.874$ )。由此可见, 在紫色土上施用钾肥改善了冬小麦根系的生长发育, 是提高籽粒产量的基础。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Sumio Itoh. *In situ* measurement of rooting density by micro rhizotron. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1985, 31(4): 653~ 656
- [ 2 ] Mackie-Dawson L A. Nitrogen uptake and root morphological responses of defoliated *Lolium perenne* (L.) to a heterogeneous nitrogen supply. *Plant and Soil*, 1999, 209: 111~ 118
- [ 3 ] Kristian Thorup-kristensen, Riki van den Boogaard. Vertical and horizontal development of the root system of carrots following green manure. *Plant and Soil*, 1999, 212: 145~ 153
- [ 4 ] Vaughan D, Ord B G, Buckland S T, *et al.* Distribution of soil invertebrates in relation to the root systems of *Picea sitchensis* (Bong) Carr. and *Acer pseudoplatanus* L. during development of young plants. *Plant and Soil*, 1994, 167: 73~ 77
- [ 5 ] Yamaguchi J, Tanaka A. An image processing method to measure plant roots traits. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 1990, 36(2): 337~ 343
- [ 6 ] 陈际型. 钾素营养对水稻根系生长和养分吸收的影响. *土壤学报*, 1997, 34(2): 182~ 188. Chen J X. Effect of K nutrition on rice root growth and nutrient uptake (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1997, 34(2): 182~ 188
- [ 7 ] Bingham I J, Blackwood J M, Stevenson E A. Site scale and time course for adjustments in lateral root initiation in wheat following changes in C and N supply. *Ann. Bot.*, 1997, 80: 97~ 106
- [ 8 ] Robinson D. Resource capture by localized root proliferation: why do plants bother? *Ann. Bot.*, 1996, 77: 179~ 185
- [ 9 ] Van Vuuren M M I, Robinson D, Griffiths B S. Nutrient inflow and root proliferation during the exploitation of a temporally and spatially discrete source of nitrogen in soil. *Plant and Soil*, 1996, 178: 185~ 192
- [ 10 ] 马元喜主编. 小麦的根. 北京: 中国农业出版社, 1999. 119~ 135, 103~ 104, 244, 227. Ma Y X. Roots of Wheat (In Chinese). Beijing: China Agricultural Press, 1999. 119~ 135, 103~ 104, 244, 227
- [ 11 ] 魏虹, 林魁, 李凤民, 等. 有限灌溉对半干旱区春小麦根系发育的影响. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 106~ 110. Wei H, Lin K, Li F M, *et al.* Effects of limited irrigation on the root development of spring wheat in a semi-arid region (In Chinese). *Acta Phytologica Sinica*, 2000, 24(1): 106~ 110
- [ 12 ] 李鲁华, 李世清, 翟军海, 等. 小麦根系与土壤水分胁迫关系的研究进展. *西北植物学报*, 2001, 21(1): 1~ 7. Li L H, Li S Q, Zai J H, *et al.* Review of the relationship between wheat roots and waters stress (In Chinese). *Acta Bot. Boreal-Occident. Sin.*, 2001, 21(1): 1~ 7
- [ 13 ] 刘殿英, 石立岩, 黄炳茹, 等. 栽培措施对冬小麦根系及其活力和植物性状的影响. *中国农业科学*, 1993, 26(5): 51~ 56. Liu D Y, Shi L Y, Huang B R, *et al.* Influence of cultivation methods on root system, root vigor and plant characteristics in winter wheat (In Chinese). *Scientia Agricultural Sinica*, 1993, 26(5): 51~ 56
- [ 14 ] Harper J L, Jones M, Sckville Hamilton N R. The evolution of roots and the problems of analysing their behaviour. In: Atkinson D. ed. *Plant Root Growth: An Ecological Perspective*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1990. 49~ 59
- [ 15 ] Tennant D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. *J. Ecol.*, 1975, 63: 995~ 1001
- [ 16 ] Marsh B B. Measurement of length in random arrangement of line. *J. Appl. Ecol.*, 1971, 8: 265~ 267
- [ 17 ] 邹琦主编. 植物生理生化实验指导. 北京: 中国农业出版社, 1995. Zou Q. *Plant Physiological Physiochemical Experimental* (In Chinese). Beijing: China Agricultural Press, 1995
- [ 18 ] 魏朝富, 陈世正, 谢德体. 长期施用有机肥对紫色水稻土有机无机复合体性状的影响. *土壤学报*, 1995, 32(2): 159~ 166. Wei C F, Chen S Z, Xie D T. Effects of long term application of organic manures on characters of organic mineral complex in purple paddy soil (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1995, 32(2): 159~ 166
- [ 19 ] 赵哲权, 王明九, 刑建民. 稻草对土壤酶活的影响. *土壤肥料*, 1990, 3: 28~ 29. Zhao Z Q, Wang M J, Xing J M. Effect of applying rice straw on activity of soil enzymes (In Chinese). *Soil Fertilizer*, 1990, 3: 28~ 29
- [ 20 ] Aung I H. Root shoot relationship. In: Carson E V. ed. *The Plant Root and Its Environment*. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. 29~ 52
- [ 21 ] Passiowra J B. Root and drought resistance. *Agricultural Water Management*, 1983, 7: 265~ 280
- [ 22 ] Entz M H, Gross K G, Fowler D B. Root growth and soil water extraction by winter and spring wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 1972, 72: 1109~ 1120
- [ 23 ] 马新明. 冬小麦根系活力与籽粒灌浆关系的研究. *河南农业大学学报*, 1990, 24(2): 269~ 274. Ma X M. Study on relationship between root activity of winter wheat and grain filling (In Chinese). *Acta Agriculturae Universitatis Henanensis*, 1990, 24(2): 269~ 274

## EFFECTS OF POTASSIUM FERTILIZER ON WINTER WHEAT ROOT NUTRIMENTAL ECOLOGY

Xiong Mingbiao<sup>1,2,3</sup> Tian Yingbing<sup>1</sup> Xiong Xiaoshan<sup>1</sup> Song Guangyu<sup>1</sup> Lei Xiaozhang<sup>3</sup> Cao Shuyou<sup>3</sup>

(1 *College of Resources and Environment, Southwest Agricultural University, Beibei, Chongqing 400716, China*)

(2 *Sichuan Soil-Water Conservation and Ecology Environment Monitoral Base, Chengdu 610041, China*)

(3 *High-speed Hydraulic National Key Laboratory, Sichuan University, Chengdu 610065, China*)

**Abstract** Effects of potassium (K) on root nutrimental ecology of winter wheat were studied on the National Purple Soil Fertility and Fertilizer Efficiency Monitored Base. The results showed that K application obviously increased K concentration in root, root length, root surface area, root activity, root dry weight, the amount of root in 40~100 cm soil layer and the ratio of root/shoot. Significant correlation was found between the grain yield of winter wheat and root activity, root length, root surface area, root dry weight, root quantity in deeper soil layer. The correlation coefficients were 0.926<sup>\*\*</sup>, 0.865<sup>\*</sup>, 0.846<sup>\*</sup>, 0.893<sup>\*\*</sup>, 0.996<sup>\*\*</sup>, respectively. These results suggested that the improvement of root nutrimental ecology had a positive effect on the grain yield of winter wheat.

**Key words** Potassium nutrition; Root nutrimental ecology; Winter wheat; Purple soil