

施肥深度对春小麦根系分布及后期衰老的影响^①

张永清^{1,2}, 李 华³, 苗果园¹

(1 山西师范大学生物技术与工程学院, 山西临汾 041000; 2 山西农业大学农学院, 山西太谷 030801;

3 山西大学环境与资源学院, 太原 030006)

Effect of Fertilization Depth on Distribution and Late Senescence of Root System of Spring Wheat

ZHANG Yong-qing^{1,2}, LI Hua³, MIAO Guo-yuan¹

(1 College of Biological Technology and Engineering, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000, China; 2 College of Agriculture, Shanxi

Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China; 3 College of Environment and Resources, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

摘 要: 施肥深度对春小麦根系分布及后期衰老影响的盆栽试验结果表明, 施肥深度可以改变小麦根重及根长密度在不同土体中的分布, 较深层次(20~30 cm)的施肥, 有利于下层土壤中根重、根长密度及根系活性的提高, 同时增加旗叶面积和净光合速率, 并使小麦根系超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)活性保持较高的水平, 抑制过氧化产物丙二醛(MDA)的产生, 延缓根系衰老, 最终使小麦产量明显提高。

关键词: 施肥深度; 春小麦; 根系分布; 衰老

中图分类号: S512.106

我国北方旱农地区, 作物产量的形成和品质的提高在很大程度上取决于提高作物对土壤深层水分和养分的利用能力^[1-3]。而在提高深层土壤水分和养分资源利用效率的诸多途径中, 改善根系的分布及增加根系的吸收能力是一个特别重要的环节^[4-6]。大量研究表明, 根系的生长发育和分布除决定于遗传因子外, 在很大程度上受水、肥等土壤环境条件的控制^[3, 7-10]。因此, 研究有利于促进根系下扎、扩大根系吸收面积及增大深层根系比重和活力的环境条件, 寻求充分利用土壤深层蓄水, 实现“以根调水”的农业措施, 对保障干旱、半干旱地区作物的高产、稳产具有重要的现实意义。本试验采用盆栽的方法研究了不同深度层次施肥对春小麦根系分布和后期衰老的影响, 以探讨通过改变施肥方式, 增加中下层土壤中根系生长和吸收能力的可行性, 为农业生产实践服务。

1 材料与方法

本试验在山西农业大学农学院黄土作物生态研究所内进行。试验采用直径为 25 cm, 高为 32 cm

的瓦氏盆盆栽, 供试小麦品种为加春 1 号(本所从加拿大引进的新品种, 3 年大田试种表现良好), 土壤为黄土母质上发育而成的碳酸盐褐土, 其养分含量为: 有机质 15.7 g/kg, 全 N 0.98 g/kg, 速效 P (P_2O_5) 9.6 mg/kg, 速效 K (K_2O) 137 mg/kg。每盆栽土 14 kg。试验设表层土(0~10 cm)施肥(T1)、中层土(10~20 cm)施肥(T2)和底层土(20~30 cm)施肥(T3) 3 个处理, 每处理重复 9 次。施肥土层每千克土壤施 N、 P_2O_5 、 K_2O 分别为 0.3 g、0.2 g、0.3 g, 所用肥料分别为尿素、过磷酸钙和氯化钾, 全部基施。3 月 20 日播种, 每盆留苗 12 株, 随机区组排列。小麦开花后 15 天和 30 天各取 3 次重复, 分不同土层(0~10、10~20、20~30 cm 取根样, 测定根活力、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)活性、丙二醛(MDA)含量及不同土层的根长密度, 并在花后 15 天测定旗叶面积和净光合速率。收获时考种计产。试验所得数据用 DPS 数据分析软件分析并进行多重比较。

试验中各项目的测定分法分别为: 根系活力的测定用 TTC 法^[11]; 根长测定用数码相机照相, CIAS

①基金项目: 山西省自然科学基金项目(991102)资助。

作者简介: 张永清(1964—), 男, 山西襄汾人, 博士, 副教授, 主要从事植物营养及作物生态方面的教学与研究。E-mail: yqzhang208@163.com

图像分析软件分析测量；光合速率测定：于上午 10:00—12:00 每处理随机取 20 片旗叶，用美国产 CI-301 光合测定仪进行测定；MDA 含量的测定用硫代巴比妥酸法^[11]；POD 活性的测定用愈创木酚比色法^[12]；SOD 活性的测定用核黄素法^[12]。

2 结果与分析

2.1 施肥深度对不同土层中小麦根重和根长密度的影响

表 1 结果表明，小麦根系在不同深度土层中的

分布呈明显的“T”字型，表层（0~10 cm）土壤中小麦根干重占总根重的绝大部分，但其重量在小麦开花后即随着生育期的推后而开始下降；中下层土壤中的根重相对较少，但其重量在小麦开花后 30 天才达到最大值，表明随着小麦生长发育，后期深层根系的吸收作用逐渐增强。由表 1 还可以看出，施肥能明显增加施肥层次中小麦根系的重量和根长密度，中下层施肥甚至可使下部根重和根长密度高于表层，明显改变了小麦根系的分布。下层施肥有利于小麦根系的下扎。

表 1 施肥深度对不同层次土壤中小麦根重及根长密度的影响

项目	土层深度 (cm)	开花后 15 天			开花后 30 天			成熟期		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
根重 (g/盆)	0~10	4.96A	3.26B	3.25B	4.80A	3.05B	3.16B	4.55A	2.81B	2.89B
	10~20	1.48C	3.33A	2.32B	1.48C	3.43A	2.34B	1.26C	3.08A	2.13B
	20~30	0.97B	1.33B	1.82A	0.76C	1.34B	1.84A	0.62C	0.98B	1.33A
根长密度 (cm/cm ³)	0~10	3.22A	2.52B	2.30B	3.18A	2.27AB	1.78B	3.08A	2.24B	1.99C
	10~20	2.05B	3.03A	2.14B	1.82B	2.76A	1.84B	1.67B	2.73A	2.01B
	20~30	1.25C	1.66B	2.32A	0.99C	1.53B	2.28A	0.87C	1.41B	1.95A

注：字母相同者表示处理间差异未达极显著水平（ $P>0.01$ ）；字母不同者表示处理间差异达极显著水平（ $P<0.01$ ），下表同。

2.2 施肥深度对不同土层中春小麦根系活力的影响

表 2 结果表明，小麦根系活性在不同深度土壤层次中的分布特征与根重分布明显不同，多呈下部根系活力大而上部根系活力小的“倒 T”型分布。小麦开花后，根系的活力开始下降，但下层根系活力

的下降明显迟于上层，表明小麦生育后期，下层的根系对维持作物的生长具有更加重要的作用。由表 2 还可以看出，施肥深度对小麦根系活力具有明显的影响，在不同的层次中均表现出施肥者明显高于无肥者，下层施肥有利于提高下层根系的活力。

表 2 施肥深度对小麦根系活力、MDA 含量及 SOD、POD 活性的影响

项目	土层深度 (cm)	开花后 15 天			开花后 30 天		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3
根系活力 (TTC $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$)	0~10	51.57A	47.46B	46.20B	32.40A	27.17B	25.33B
	10~20	47.43B	53.37A	43.63C	28.40A	33.73A	29.60A
	20~30	55.43C	59.83B	70.20A	32.60C	35.17B	39.87A
SOD 活性 (Units/(g·h))	0~10	615.2A	551.4B	537.3B	250.5B	322.8A	242.4B
	10~20	523.7B	641.6A	511.1B	271.7B	334.5A	291.2B
	20~30	463.6C	522.8B	573.6A	239.8C	285.4B	322.8A
POD 活性 (Units/(g·min))	0~10	103.2A	95.1AB	86.7B	66.6A	59.9AB	52.2B
	10~20	95.7B	117.8A	94.0B	72.2B	91.7A	74.3B
	20~30	102.7B	113.2AB	122.9A	68.9C	73.3B	80.1A
MDA 含量 ($\mu\text{mol}/\text{g}$, FW)	0~10	57.6A	54.8A	59.1A	79.6A	84.0A	82.9A
	10~20	60.5A	51.6B	56.1AB	88.4A	74.1B	78.6B
	20~30	63.8A	52.4B	52.3B	77.0A	71.8B	68.4C

2.3 施肥深度对不同深度土层中小麦根系 MDA 含量及 SOD、POD 活性的影响

POD 和 SOD 均是植物膜脂过氧化过程中重要的保护酶，对保护膜结构的稳定性至关重要。由表 2 可以看出，施肥有利于本层次中根系 POD、SOD 活性的提高，花后 15 天不同深度土壤层次中根系

SOD、POD 活性均表现为施肥者显著高于未施肥者，但花后 30 天，表层施肥处理小麦根系的 SOD 和 POD 活性在各层次中均明显低于中下层施肥处理，说明肥料的适当深施有利于提高小麦根系 SOD 和 POD 活性，降低小麦根细胞膜脂过氧化程度，保持膜的稳定性。

MDA 是细胞脂膜氧化的产物,其含量多少代表了膜损伤程度的大小,是标志植物衰老进程的一个重要指标。表 2 结果表明,表层施肥处理小麦,表层土壤(0~10 cm)中根系 MDA 含量与其他处理无明显差异,但下层土壤(10~30 cm)中根系 MDA 含量却显著高于下层施肥处理,说明表层施肥处理小麦根系的衰老进程快于中下层施肥处理,适当地深施肥料,有利于延缓小麦根系的衰老进程。

2.4 施肥深度对小麦旗叶面积、净光合速率及产量的影响

小麦产量的形成在很大程度上依赖于后期光合产物的累积。小麦旗叶是小麦后期光合最重要的功能叶,其面积的大小对后期光合产物的累积具有重要的影响。表 3 试验结果表明,下层施肥使小麦旗叶面积明显高于表层施肥处理。

表 3 施肥深度对小麦旗叶面积、光合速率及产量的影响

处理	旗叶面积 (cm ²)	净光合速率 ($\mu\text{mol CO}_2/(\text{m}^2\cdot\text{s})$)	产量 (g/盆)
T1	7.68 ± 0.34B	12.31 ± 0.73B	19.40B
T2	8.37 ± 0.53A	13.82 ± 0.58A	22.86A
T3	8.46 ± 0.45A	13.57 ± 0.59A	23.33A

小麦的净光合速率的高低是小麦光合作用强弱最直观的指标。花后 15 天测定小麦旗叶净光合速率结果,也表现出下层施肥处理小麦明显高于上层施肥处理小麦。表明下层施肥有利于提高小麦后期的光合作用。

农业措施的最终目标是为了产量的提高和品质的改善,表 3 结果表明,由于较深层次施肥促进了小麦根系的下扎,提高了小麦根系的活力,延缓了小麦根系的衰老,并增强了小麦旗叶的光合作用,为小麦的高产创造了有利条件,因此,最终表现为产量显著提高。

3 结论与讨论

(1) 小麦开花后根重和根长密度在不同土层中的分布表现为明显的“T”字型,但小麦的根系活力表现出明显的“倒 T”型分布。通过调节施肥深度可以改变小麦根系在不同土层深度中的分布。一般情况下在施肥的土壤层次中小麦的根重较大,根长密度较高,根系活力也较大。较深层次(10~30 cm)施肥有利小麦深层根重、根长密度及根系活力的提高,因此有利于小麦根系对较深层次土壤中水分和养分的利用。

(2) 深层根系是小麦经济产量的功能根系^[6-7],延长深层根系的功能期,有利于小麦经济产量的形成。本试验结果表明,较深层次施肥可以提高小麦根系 SOD、POD 活性,降低根系 MDA 含量,因此可以延缓下层根系的衰老,有利于小麦产量的提高。

(3) 施肥深度不仅可以影响小麦根系分布和活力,而且可以影响小麦旗叶面积和光合速率。生产中可以通过适当加深施肥深度的方法,增加下层根系的活力并提高叶片的光合效率,最终实现提高产量的目的。

参考文献:

- [1] 苗果园,高志强,张云亭,尹钧,张爱良.水肥对小麦根系整体影响及其与地上部相关的研究.作物学报,2002,28(4):445-450
- [2] 孙志强,王宗胜,鲍国军,王玲洁.施肥对黄土高原旱地冬小麦根系生长的影响.水土保持研究,2003,10(4):141-143
- [3] 翟丙年,孙春梅,王俊儒,李生秀.氮素亏缺对冬小麦根系生长发育的影响.作物学报,2003,29(6):913-918
- [4] 王法宏,王旭清,李松坚,边麦玲,于振文,余松烈.高产小麦生育后期不同层次土壤中根系活性的研究.作物学报,2001,27(6):891-895
- [5] Barraclough PB. Effect of compacted subsoil layer on root and shoot growth, water use and nutrient uptake of winter wheat. Agric. Sci. Camb., 1988, 110: 207-216
- [6] Asseng S, Ritchie JT, Smucker AJ. Root growth and water uptake during water deficit and recovering in wheat. Plant and Soil, 1998, 201(2): 265-273
- [7] Zhuge YP, Zhang XD, Zhang YL, Li J, Yang LJ, Huang Y, Liu MD. Tomato root response to subsurface drip irrigation. Pedosphere, 2004, 14(2): 205-212
- [8] 刘坤,陈新平,张福锁.不同灌溉策略下冬小麦根系的分布与水分养分的空间有效性.土壤学报,2003,40(5):697-702
- [9] 马红亮,朱建国,谢祖彬.大气 CO₂ 浓度升高对植物-土壤系统地下过程影响的研究.土壤,2003,35(6):465-472
- [10] 熊明彪,田应兵,熊晓山,宋光煜,雷孝章,曹叔尤.钾肥对冬小麦根系营养生态的影响.土壤学报,2004,41(2):285-291
- [11] 张志良.植物生理学实验指导.北京:高等教育出版社,1990
- [12] 王爱国,罗文华,邵从本.大豆种子超氧化物歧化酶的研究.植物生理学报,1983,9(1):77-84