

长期定位施肥对冬小麦后期根系衰老和产量的影响

李京涛, 姜 雯, 张玉梅, 刘树堂, 林 琪

(莱阳农学院, 山东 青岛 266109)

摘要: 利用连续 28 年长期定位施肥试验, 研究了长期施肥对冬小麦生育后期根系衰老及产量的影响, 结果表明, 施用有机肥特别是有机肥与一定量的氮肥配合施用能显著抑制根系的膜脂过氧化作用, 使小麦根系中 SOD 活性提高、MDA 含量降低、从而延缓了根系的衰老, 使小麦生育后期仍能维持较高的根系生理活性, 提高了粒重, 增加籽粒产量。

关键词: 长期定位施肥; 冬小麦; 根系; 衰老; 籽粒产量

中图分类号: S147.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2007)05-0138-04

Effects of Long-term Locating Fertilization on Decrepitude Index of Root System and Yield of Winter Wheat at Later Growth Stage

LI Jing-tao, JIANG Wen, ZHANG Yu-mei, LIU Shu-tang, LIN Qi

(Laiyang Agricultural College, Qingdao 266109, China)

Abstract: Under the condition of the long-term locating fertilization for 28 years, we have a study on the effects of used fertilizers for long years on decrepitude index of root system and yield of winter wheat at later growth stage. The result indicated that used organic fertilizer, especially used organic fertilizer with some inorganic nitrogen can obviously depress membrane lipid peroxidation of root system, enhance the activity of SOD, depress content of MDA, postpone the speed of decrepitude of root system; the root system have higher physiological activity at later growth stage, enhance grain weight, increase grain yield.

Key words: Long-term position fertilization; Winter wheat; Root system; Decrepitude index; Grain yield

长期肥料定位试验是评估肥料运筹对土壤物理性状与生产力的长期影响最为有效的研究方法。近年来, 已有许多国内外学者研究了长期施肥对土壤物理特性与肥力、土壤养分平衡与生产力、养分利用效率、作物产量及品质的影响, 但较少研究涉及长期定位试验条件下施肥处理对作物根系衰老进程的影响^[1-6]。为此, 在 28 年长期定位肥料试验的基础上, 研究了长期定位施肥对冬小麦后期根系 CAT、SOD 活性、可溶性蛋白质含量和 MDA 含量等衰老生理生化指标和籽粒产量的影响, 以期阐释定位试验条件下对冬小麦后期根系衰老进程的影响机理, 为改进和完善小麦施肥技术奠定理论基础。

1 材料和方法

1.1 试验处理

试验于 2005-2006 年在莱阳农学院试验站长

期定位施肥田进行。该地区位于东经 120.7°, 北纬 36.9°, 属暖温带半湿润季风气候。试验共设 9 个处理(表 1), 即不施肥对照(CK), 单施低量氮肥(N₁), 单施高量氮肥(N₂), 单施低量有机肥(M₁), 低量有机肥配施低量氮肥(M₁N₁), 低量有机肥配施高量氮肥(M₁N₂), 单施高量有机肥(M₂), 高量有机肥配施低量氮肥(M₂N₁), 高量有机肥配施高量氮肥(M₂N₂)。无机肥用尿素, 高量氮肥每年每公顷施用 276 kg 氮素, 低量氮肥每年每公顷施用 138 kg。有机肥用猪圈粪, 含全氮量为 2~3 g/kg, 含全磷量为 0.5~2.0 g/kg, 有机质含量为 20~50 g/kg, 施用高低量均以与无机氮肥等含氮量计算。供试品种为烟优 361, 10 月上旬适期播种, 每区 15 行, 行距 25 cm, 小区面积 33.3 m², 重复 3 次, 顺序排列, 除肥料因素外, 其他管理措施跟大田生产一致。有机肥作基肥; 无机氮肥作小麦底肥和返青期、拔节期追肥; 种肥的

收稿日期: 2007-06-08

基金项目: 青岛自然基金项目(05-1-JC-91); 国家“863”项目(2002AA2Z4247)资助

作者简介: 李京涛(1979-), 男, 山东莱州人, 硕士, 主要从事小麦优质高产栽培研究工作

通讯作者: 林 琪(1956-), 男, 山东乳山人, 教授, 博士, 主要从事小麦旱作节水、优质高产研究工作。

尿素施用量如下, 低量氮肥每年每公顷施用 22.5 kg, 高量氮肥每年每公顷施用 45 kg; 起身期、拔节期追肥采用沟施尿素, 施用量为起身期低量氮肥每年每公顷施用 52.5 kg, 高量氮肥每年每公顷施用 105 kg; 拔节期低量氮肥每年每公顷施用 75 kg, 高量氮肥每年每公顷施用 150 kg。2005 年播种前土壤养分含量见表 2。

表 1 试验处理

Tab. 1 Treatments in the experiment										kg/ hm ²
处理 Treatment	CK	N ₁	N ₂	M ₁	M ₁ N ₁	M ₁ N ₂	M ₂	M ₂ N ₁	M ₂ N ₂	
有机肥 Organic fertilizer	0	0	0	30 000	30 000	30 000	60 000	60 000	60 000	
N	0	138	276	0	138	276	0	138	276	

表 2 不同施肥处理播种前土壤肥力状况

Tab. 2 Soil fertility before sowing for different fertilization treatments				
处理 Treatment	有机质/ (g/ kg) Organic manure	硝态氮/ (mg/ kg) Nitrate nitrogen	全磷/ (mg/ kg) Total phosphorus	速效钾/ (mg/ kg) Available potassium
CK	5. 423	10. 33	493. 57	37. 2
N ₁	7. 014	20. 37	481. 72	36. 0
N ₂	6. 905	35. 78	478. 44	28. 6
M ₁	13. 257	20. 89	1 301. 83	45. 5
M ₁ N ₁	13. 912	56. 57	1 149. 28	44. 8
M ₁ N ₂	11. 988	49. 11	1 187. 85	42. 6
M ₂	15. 092	42. 86	1 639. 14	63. 9
M ₂ N ₁	17. 241	73. 21	1 693. 97	57. 6
M ₂ N ₂	18. 135	88. 48	1 829. 35	57. 9

1.2 测定方法

从开花期开始每隔 7 d 取样, 挖取 20 cm× 20 cm × 40 cm 含有根系的土体, 置于筛网中用缓流冲洗, 吸干表面水分后置于液氮罐中, 带回实验室储藏于 - 72 ℃超低温冰箱中, 用于测定衰老指标。丙二醛 (MDA) 含量测定参照林植芳等^[7] 的方法; 过氧化氢酶 (CAT) 活性采用高锰酸钾滴定的方法; 超氧化物歧化酶 (SOD) 活性参照 Giannoplitis 以及王爱国等^[8] 的方法; 可溶性蛋白含量测定采用考马斯亮兰法^[9]。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对冬小麦后期根系 SOD 活性的影响

SOD(以鲜质量计)是防御活性氧或其他过氧化物自由基对细胞伤害的重要保护酶,其活性的高低直接影响植物组织细胞的衰老进程。由表 3 可以看出,花后随生育期的推进,根系 SOD 活性呈下降趋势,各处理 SOD 活性以对照为最低。纯施氮肥的处理 N₁, N₂ 相比较,SOD 活性 N₁> N₂; 纯施有机肥的处理 M₁, M₂ 比较, SOD 活性 M₂> M₁。施用有机肥的处理,随施氮量增加,SOD 活性表现为增加的趋势,但在灌浆的中前期,施用低量有机肥和高量有机肥的处理根系 SOD 活性差异不显著;施用氮肥的处理,随施用有机肥的增加,SOD 活性增加。花后 0~ 14 d,纯施氮肥处理能够有效的提高小麦根系的 SOD 活性,花后 14~ 28 d,纯施有机肥较纯施氮肥处理能更有效地减缓

SOD 活性的下降。有机肥和氮肥配施处理根系 SOD 活性均显著高于等量纯施有机肥或氮肥处理,表明有机肥和氮肥配合施用能显著增加小麦花后根系 SOD 活性,其中高量有机肥配施高量氮肥的处理 M₂N₂ 在小麦花后根系 SOD 活性最高。

表 3 不同施肥处理对冬小麦后期根系 SOD 活性变化的影响

Tab. 3 Effects of different fertilization treatments on SOD activity in winter wheat root system at later growth stage						μg/g
处理 Treatment	花后天数/ d Days after anthesis					
	0	7	14	21	28	
CK	251f	229e	176f	135f	18f	
N ₁	297d	285c	244e	198e	26e	
N ₂	289d	279c	238e	195e	25e	
M ₁	275e	263d	253d	219d	36d	
M ₁ N ₁	319bc	305b	286b	237c	48bc	
M ₁ N ₂	331a	322a	314a	245b	51b	
M ₂	312c	299b	276c	231c	45c	
M ₂ N ₁	321b	309b	293b	249b	53ab	
M ₂ N ₂	333a	325a	317a	259a	58a	

注: 通过 Duncan 多重比较检验,字母相同者表示处理间差异未达显著水平(P> 0.05);字母不同者表示处理间差异达显著水平(P< 0.05),下表同

Note: Treatments with the same letters are not significantly different according to Duncan Multiple range test(P> 0.05),treatments with the difference letters are significantly different(P< 0.05), the same as below

2.2 不同施肥处理对小麦后期根系 CAT 活性影响

CAT(以鲜质量计)广泛存在于生物体内,它能促进过氧化氢的分解而有利于防治过氧化氢对生物体的毒害。由表 4 可以看出,花后随生育期的延伸,冬小麦的根系 CAT 活性呈下降趋势,各处理 CAT 活

性以对照为最低。纯施氮肥处理 N_1 , N_2 相比较, CAT 活性总体上 $N_1 > N_2$, 但二者差异不大; 纯施有机肥的处理 M_1 , M_2 相比较, CAT 活性 $M_1 < M_2$ 。施用有机肥的各处理, 随施氮量增加, CAT 活性表现增加的趋势; 施用氮肥的处理, 随施用有机肥的增加, CAT 活性呈现增加的趋势。花后 0~ 14 d, 纯施氮肥处理的 CAT 活性还能维持较高的水平; 花后 14~ 28 d, 纯施氮肥处理较单施有机肥处理 CAT 活性降低速度快。所有处理中, 高量有机肥配施高量氮肥的处理 M_2N_2 根系 CAT 活性最高。有机肥和氮肥配施处理根系 CAT 活性均显著高于纯施有机肥或氮肥处理, 表明有机肥和氮肥配合施用比等量纯施有机肥或氮肥更能显著增加小麦花后根系 CAT 活性。

表 4 不同施肥处理对冬小麦后期根系 CAT 活性变化的影响

Tab. 4 Effects of different fertilization treatments on CAT activity in wheat root system at later growth stage

处理 Treatment	花后天数/ d Days after anthesis				
	0	7	14	21	28
	$\mu\text{mol/ g}$				
CK	983f	895f	681g	568e	134f
N_1	1 176d	1 106cd	823f	657d	169e
N_2	1 175d	983e	817f	655d	173e
M_1	1 106e	1 059d	887e	741c	199d
M_1N_1	1 286b	1 216ab	964c	811b	257b
M_1N_2	1 311a	1 241a	997b	842a	271b
M_2	1 199c	1 115c	943d	801b	215c
M_2N_1	1 301ab	1 221b	1 007ab	833a	264b
M_2N_2	1 317a	1 249a	1 021a	852a	286a

表 5 不同施肥处理对小麦后期根系 MDA 含量的影响

Tab. 5 Effects of different fertilization treatments on MDA content in wheat root system at later growth stage

处理 Treatment	花后天数/ d Days after anthesis				
	0	7	14	21	28
	$\mu\text{mol/ g}$				
CK	6. 7a	8. 2a	8. 5a	9. 4a	10. 9a
N_1	5. 8c	6. 7d	7. 9bcd	8. 9b	10. 4b
N_2	5. 8c	7. 3c	8. 0bc	9. 1ab	10. 2bc
M_1	6. 5ab	7. 8b	8. 1b	8. 5c	10. 1bcd
M_1N_1	5. 7cd	6. 5de	7. 5def	8. 3c	9. 9cde
M_1N_2	5. 4de	6. 1ef	7. 3ef	8. 2c	9. 5ef
M_2	6. 3b	6. 6d	7. 6cde	8. 4c	9. 7de
M_2N_1	5. 5cde	6. 3def	7. 3ef	8. 1cd	9. 5ed
M_2N_2	5. 3e	5. 9f	7. 1f	7. 8d	9. 2f

2.3 不同施肥处理对小麦后期根系 MDA 含量的影响

MDA 含量(以鲜质量计)是植株膜脂过氧化的产物, 其含量的高低反映了细胞膜脂过氧化水平, 与植株的衰老程度密切相关。由表 5 可以看出, 花后随生育期的推进, 小麦根系 MDA 含量呈上升趋势, 各处理 MDA 含量以 CK 为最高。纯施氮肥的处理

N_1 , N_2 相比较, MDA 含量总体上 $N_1 < N_2$, 但差异不明显; 纯施有机肥的处理 M_1 , M_2 相比较, MDA 含量 $M_2 < M_1$ 。施用有机肥的各处理, 随施氮量增加, MDA 含量呈降低的趋势, 但在灌浆的中前期, 低量有机肥和高量有机肥的根系 MDA 含量差别不显著; 施用氮肥的各处理, 随施用有机肥的增加, MDA 含量表现为减少的趋势。在所有处理中, 以高量有机肥配施高量氮肥的处理 M_2N_2 MDA 含量最低。

2.4 不同施肥处理对小麦后期根系可溶性蛋白含量的影响

由表 6 可以看出, 花后随生育期的推进, 小麦根系可溶性蛋白含量(以鲜质量计)呈下降趋势, 各处理可溶性蛋白含量以对照为最低。纯施氮肥处理比较, 可溶性蛋白含量 $N_1 < N_2$; 纯施有机肥的处理 M_1 , M_2 比较, 可溶性蛋白含量 $M_1 < M_2$ 。施用有机肥的处理比较, 随施氮量增加, 可溶性蛋白含量表现为增加的趋势; 施用氮肥的各处理, 随施用有机肥的增加, 可溶性蛋白含量增加, 但在灌浆的中前期, 施用低量有机肥和高量有机肥的处理根系可溶性蛋白含量差别不显著。施用有机肥的处理能较施用氮肥的处理更有效地维持可溶性蛋白含量。有机肥和氮肥配施处理根系可溶性蛋白含量均显著高于等量纯施有机肥或氮肥处理, 表明有机肥和氮肥配合施用能显著增加小麦花后可溶性蛋白含量, 其中高量有机肥配施高量氮肥的处理 M_2N_2 花后各时期可溶性蛋白含量最高。

表 6 不同施肥处理对小麦后期根系可溶性蛋白含量的影响

Tab. 6 Effects of different fertilization treatments on soluble protein content in wheat root system at later growth stage

处理 Treatment	花后天数/ d Days after anthesis				
	0	7	14	21	28
	mg/ g				
CK	4. 1e	3. 2g	2. 4f	1. 7f	0. 8e
N_1	4. 7d	4. 1e	2. 8e	2. 3e	1. 2d
N_2	4. 8d	4. 4de	3. 5d	2. 5de	1. 6c
M_1	4. 5d	3. 7f	3. 5d	2. 6cde	1. 7c
M_1N_1	5. 3c	4. 8bc	3. 7d	3. 0bc	1. 9bc
M_1N_2	5. 7ab	5. 2a	4. 2ab	3. 3ab	2. 1ab
M_2	5. 2c	4. 7cd	3. 8cd	2. 9bcd	1. 8bc
M_2N_1	5. 4bc	5. 1ab	4. 1bc	3. 1b	2. 1ab
M_2N_2	5. 8a	5. 4a	4. 5a	3. 6a	2. 3a

2.5 不同施肥处理对小麦产量及构成因素的影响

从表 7 可以看出, 纯施氮肥提高了小麦穗粒数、千粒重和每公顷穗数, 产量比对照得到显著提高, 但纯施高量氮肥(N_2)处理的穗粒数、千粒重和公顷穗数下降而造成产量比纯施低量氮肥(N_1)处理低, 表明纯施氮肥能够提高小麦产量, 但过多施用对增产不利, 可能跟长达 28 年施用氮肥造成土壤肥力状况

有关(表 2); 纯施有机肥显著提高了小麦穗粒数、千粒重和公顷穗数, 因而产量比对照显著提高, 并随着有机肥施用量的增加而显著增加, 表明增施有机肥有利于提高小麦产量; 有机肥和氮肥配施处理显著

提高小麦穗粒数、千粒重和每公顷穗数, 因而产量较高, 表明长期有机肥与无机氮肥配施提高小麦产量的效果最佳, 其中以高量有机肥配施高量氮肥产量最高。

表 7 不同施肥处理对冬小麦产量及构成因素的影响

Tab. 7 Effects of different fertilization treatments on the yield components of winter wheat				
处理 Treatment	籽粒产量/(kg/hm ²) Grain yield	穗粒数/(个/ spike) Grain per spike	千粒重/g Grain weight	穗数/(万/hm ²) Spike number
CK	1 346f	25. 6e	28f	187. 8f
N ₁	2 918e	34. 2d	35. 8de	238. 3e
N ₂	2 470e	33. 1d	34. 4e	216. 9e
M ₁	4 459d	34. 4d	37cd e	350. 3d
M ₁ N ₁	6 473c	40. 5bc	37. 7bcd	423. 9c
M ₁ N ₂	7 722b	43. 3b	38. 7bc	460. 8b
M ₂	5 236d	39. 2c	37. 3cd	358. 1d
M ₂ N ₁	8 492b	43. 1b	40. 1ab	491. 3a
M ₂ N ₂	1 0132a	48. 6a	42. 1a	495. 2a

3 讨论

小麦生育后期根系的衰老进程与地力条件和肥料运筹有关, 肥料的合理配方施肥, 对于减缓小麦根系衰老, 提高籽粒产量有重要意义^[10- 14]。本研究结果表明, 施用有机肥特别是有机肥与一定量的氮肥配合施用能显著抑制小麦后期根系的膜脂过氧化作用, 使小麦根系中 SOD 活性提高、MDA 含量降低, 从而延缓了根系的衰老, 使小麦生长后期仍能维持较高的根系生理活性, 这与李絮花等^[3]的研究结果一致。这可能与有机肥提高土壤有机质、微生物含量有关。与长期单一施用氮肥相比, 施用有机肥可以显著提高土壤中磷、钾含量(表 2)。

长期单一追施氮肥明显加速小麦根系衰老进程, 可能与长期单施氮肥造成土壤板结, 土壤有机质、速效钾、速效磷含量降低有关。长期单一施用氮肥, 小麦的公顷穗数、穗粒数和千粒重都受到显著影响。其中, 小麦的分蘖数受影响最严重, 长期单一施用氮肥情况下, 单株分蘖数只有 1~ 2 个, 而与有机肥配施情况下, 可达到 8~ 9 个。另外, 长期单一施用氮肥加速了小麦衰老进程, 从而缩短了小麦灌浆持续时间, 千粒重下降。

有机肥特别是有机肥与一定量的氮肥配合施用能显著抑制根系的膜脂过氧化作用、使小麦根系中 SOD 活性提高、MDA 含量降低、从而延缓了根系的衰老, 使小麦生育后期仍能维持较高的根系生理活性, 提高了粒重, 增加籽粒产量。

参考文献:

[1] 杨占平, 孙克刚, 龚瑞霞, 等. 潮土施用硅钾肥对冬小麦

根系活力及产量的影响[J]. 土壤肥料, 2008(2): 44- 45.
[2] 石岩, 位东斌, 于振文, 等. 施肥深度对旱地小麦花后根系衰老的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 573- 575.
[3] 李絮花, 杨守祥, 于振文, 等. 有机肥对小麦根系生长及根系衰老进程的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 467- 472.
[4] 马元喜. 小麦的根[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.
[5] 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[J]. 西北植物学报, 2001, 21(1): 1- 7.
[6] 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[J]. 中国农业科学, 1993, 26(5): 51- 56.
[7] 林植芳, 李双顺, 林桂珠, 等. 水稻叶片的衰老与超氧化物歧化酶活性及膜质过氧化作用的关系[J]. 植物学报, 1984, 26(6): 605- 615.
[8] 王爱国, 罗广华, 邵从本, 等. 大豆种子超氧化物歧化酶的研究[J]. 植物生理学报, 1983, 9(1): 77- 84.
[9] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
[10] 刘更另. 中国粮食生产与平衡施肥[C] // 国际平衡施肥学术讨论会论文集. 北京: 中国农业出版社, 1989: 16- 21.
[11] 雷振生, 吴政卿, 田云峰, 等. 生态环境变异对优质强筋小麦品质性状的影响[J]. 华北农学报, 2005, 20(3): 1- 4.
[12] 张永清, 李华, 苗果园. 施肥深度对春小麦根系分布及后期衰老的影响[J]. 土壤, 2006, 38(1): 110- 112.
[13] 姜东, 于振文, 许玉敏, 等. 有机无机肥料配合施用对冬小麦根系和旗叶衰老的影响[J]. 土壤学报, 1999, 36(4): 440- 447.
[14] 姚炳贵, 姚丽竹, 王萍, 等. 津郊潮土磷素组成及其演变规律的定位研究[J]. 华北农学报, 1997, 12(3): 94- 100.