

冬小麦对硫的吸收及在体内的分布规律

吴 静, 刘宝存, 孙明德

(北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100089)

摘要: 通过池栽试验, 研究了冬小麦的需硫规律。结果表明: 供硫充足的小麦, 植株硫的累积呈一单峰曲线, 在拔节至抽穗期吸收量最高。而全硫含量在返青起身期有一个高峰, 之后随着小麦的生长而逐渐降低。供硫不足时, 小麦硫的吸收量显著降低, 在拔节至抽穗期吸收量很低, 而在其前后出现 2 个高峰。小麦吸收到体内的硫达到一定浓度后, 即使增加土壤硫的供给, 植株硫的吸收过程也不会增强。如果土壤缺氮, 即使供硫充足, 植株也会缺硫。硫在小麦各器官的分配随生育期变化, 供硫充足的小麦叶片的硫浓度保持最高, 但叶片中硫的分配比例只在抽穗前最高, 成熟过程中叶片中有部分硫运出。抽穗后茎的累积量迅速上升, 分配比例最高。

关键词: 硫; 冬小麦; 器官; 吸收

中图分类号: S512 110.1 文献标识码: A 文章编号: 1000- 7091(2000) 03- 0103- 06

硫是作物生长发育所必需的重要矿质元素之一^[1]。由于种种原因, 致使农田土壤出现了硫供应不足的问题^[2], 对硫素营养的研究逐渐受到了普遍关注。在我国缺硫面积逐年扩大, 不仅南方存在缺硫问题, 北方地区近来也出现了供硫不足的情况^[3, 4]。小麦是重要的粮食作物, 在我国的播种面积和总产量仅次于水稻居第二位^[5], 而对小麦的需硫规律尚缺乏系统的研究。本文旨在探讨冬小麦不同生育期对硫的吸收、累积以及在植物体内的分配规律, 为生产上合理施用硫肥提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于 1996 年 10 月至 1997 年 6 月在北京市农林科学院作物研究所试验地的水泥池小区内进行, 面积 1. 86 m², 试验前测定土壤的农化性状(表 1)。供试作物为冬小麦, 品种 8120。

表 1 供试土壤的农化性状

有机质 (%)	全 N (%)	碱解 N (mg/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	有效 S (mg/kg)
0. 965	0. 063	51. 785	21. 09	139. 5	35. 65

试验设 3 个处理: ①不施任何肥料(ck); ②每 hm² 施 N 225 kg, P 180 kg, K 150 kg(NPK); ③在 NPK 处理的基础上按 45 kg/hm² 增施硫肥(NPK+ S), 每处理重复 3 次。磷肥和钾肥均底施, 氮肥和硫肥分 2 次施入, 其中 40% 底施, 60% 于拔节期追施。所用肥料为: 尿素、磷酸氢二

收稿日期: 1998- 12- 29
 基金项目: 北京市科委重点资助项目(855502600)
 作者简介: 吴 静(1971-), 女, 助理研究员, 硕士, 主要从事土壤和植物的中微量元素的研究工作。

铵、氯化钾和硫酸铵。

1.2 分析测定

分别于分蘖期、返青起身期、拔节期、抽穗灌浆期、成熟期取植株样品, 后 3 个时期的植株样分为叶片、茎秆、颖壳、子粒 4 个部分。所有样品均用蒸馏水冲洗干净, 70~ 80 ℃杀青后在 60 ℃恒温烘干并称重, 样品粉碎后用 HNO₃- HClO₄ 消煮, BaSO₄ 比浊法测定 S 的含量。其他农化性状按常规方法测定^[6]。

2 结果与分析

2.1 施硫对冬小麦产量的影响

本试验中 NPK 处理的子粒产量和地上部生物量均明显高于 ck 处理(表 2), 表明供试土壤中 NPK 可能不足。从土壤的农化性状看, 速效态 N, P, K 均较高, 而有机质和全氮较低, 因而前期各处理小麦长势和生物量相似。之后由于土壤氮的矿化量不足, ck 处理逐渐出现了黄化等缺氮症状, 表明土壤氮素容量较低是限制小麦生长的主要因子。NPK 处理和 NPK+ S 处理间生物量和最后的子粒产量皆无明显差异, 进一步说明氮素是限制因子而硫的供应充足, 当氮素供应满足后在含硫高的土壤上施用硫肥不会提高作物产量。

表 2 不同处理的小麦产量

处 理	地上部生物量(g/ 小区)	产量(g/ 小区)
ck	208	104
NPK	440	176
NPK+ S	419	160

2.2 小麦不同生育期植株硫浓度、硫吸收量的变化

从图 1 和表 3 看出, NPK+ S 处理与 NPK 处理的小麦各生育期植株体内硫的浓度和硫的吸收累积量都没有显著的差异, 说明在不缺硫的土壤上(该试验地的有效硫含量较高, 为 35.65 mg/ kg), 施用硫肥对植株硫的吸收过程没有明显的促进作用。二处理植株硫的浓度除在返青期与 ck 相当外, 其余各时期皆明显高于 ck, 拔节后差异更大。比较植株各生育期氮浓度与硫浓度可以明显看出二者具有较高的相关性(图 2), 这说明氮的吸收对硫有促进作用。反之即使土壤供硫充足, 若供氮不足, 植株不仅会缺氮, 而且也会得不到充足的硫素, 硫浓度很低(图 1), 即缺氮引起缺硫。在返青期处理间硫和氮浓度相差不大是因为一方面返青前小麦

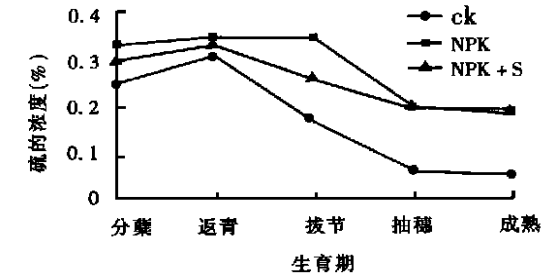


图 1 不同生育期小麦植株全硫的浓度

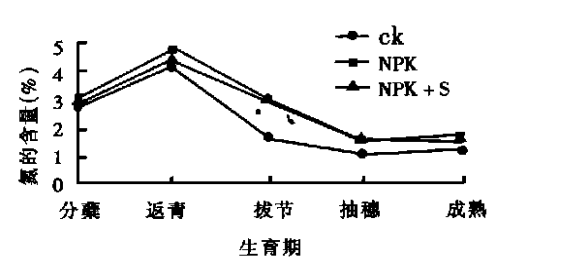


图 2 不同生育期小麦植株全氮的浓度

对氮和硫的吸收量小, 处理间差异不大; 另一方面越冬前植物地上部死亡, 氮和硫转移到地下部, 在返青时又运到地上部再利用, 而此时植株地上部生物量小, 因而氮和硫浓度较高, 处理间差异很小。

不同处理小麦植株硫浓度在全生育期的变化趋势相似, 在返青期各处理均出现一浓度高峰, 随后全硫浓度随小麦的生育进程而迅速降低, 到抽穗和成熟期保持相对稳定。

由表 3 可以看出, 冬小麦对硫的吸收受氮的影响很明显。虽然 ck 处理的土壤供硫充足, 但由于氮素缺乏, 因此不仅各时期植株吸硫量和吸硫速率明显低于 NPK 和 NPK+ S 处理, 而且吸硫动态也与这 2 个处理有所不同。ck 处理的小麦共出现了 2 个明显吸硫高峰, 一个在返青至拔节期, 另一个在抽穗至成熟期, 两时期的吸硫量占吸收总量的 78%; 拔节至抽穗期是小麦穗粒数形成的关键时期, ck 处理的小麦这一时期硫吸收量只有 0. 03 mg/ 株, 占吸收总量的 1. 5%, 因此其产量明显受到影响, 而供氮充足的小麦只有一个吸硫高峰, 在拔节至抽穗期, 吸硫量占吸收总量的 50% 左右, 在此前后吸硫量比例也较高。

表 3 冬小麦不同生育期硫的吸收量

生育期	ck			NPK			NPK+ S		
	吸收量 (mg/ 株)	占总量 (%)	吸收速率 (mg·株 ⁻¹ ·d ⁻¹)	吸收量 (mg/ 株)	占总量 (%)	吸收速率 (mg·株 ⁻¹ ·d ⁻¹)	吸收量 (mg/ 株)	占总量 (%)	吸收速率 (mg·株 ⁻¹ ·d ⁻¹)
出苗至分蘖	0. 14	7. 0	3. 25× 10 ⁻³	0. 22	1. 6	5. 12× 10 ⁻³	0. 23	1. 8	5. 35× 10 ⁻³
分蘖至返青	0. 27	13. 5	2. 25× 10 ⁻³	0. 31	2. 2	2. 58× 10 ⁻³	0. 29	2. 3	2. 42× 10 ⁻³
返青至拔节	0. 84	42. 0	3. 23× 10 ⁻²	3. 47	25. 2	9. 91× 10 ⁻²	3. 41	27. 0	9. 62× 10 ⁻²
拔节至抽穗	0. 03	1. 5	8. 57× 10 ⁻⁴	7. 51	54. 5	2. 15× 10 ⁻¹	6. 20	49. 1	1. 77× 10 ⁻¹
抽穗至成熟	0. 72	36. 0	4. 0× 10 ⁻²	2. 27	16. 5	1. 26× 10 ⁻¹	2. 50	19. 8	1. 42× 10 ⁻¹
总计	2. 00	100. 0	8. 06× 10 ⁻³	13. 78	100. 0	5. 56× 10 ⁻²	12. 63	100. 0	5. 09× 10 ⁻²

小麦的吸硫量和吸硫速率与其生长速率紧密相关(图 3、表 3), 在出苗至返青期, 小麦积累的干物质也较少, 吸收的硫量较少, 只有总量的 1. 6% ~ 1. 8%; 返青以后生长加快, 硫的吸收迅速增加, 达 3. 4~ 3. 47 mg/ 株, 占总量的 25. 2% ~ 27. 0%, 拔节至抽穗期是吸收硫量最多的

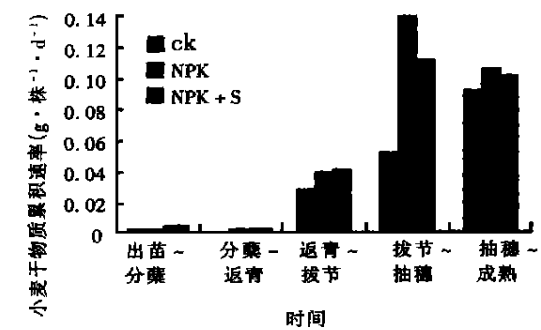


图 3 小麦干物质累积速率

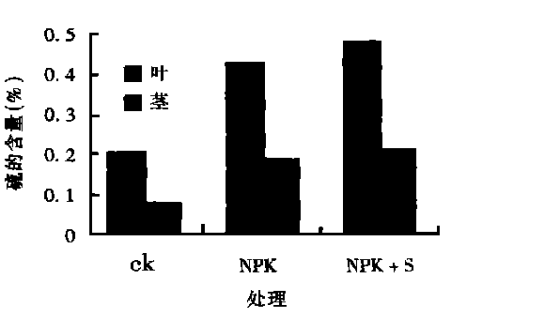


图 4 不同处理拔节期小麦各器官的硫浓度

时期, 为 6. 2~ 7. 51 mg/ 株, 占总量的 49. 1% ~ 54. 5%, 这时期干物质积累也最快, 在植株快速生长的时期内, 养分的吸收速率虽然也有增加, 但不及碳同化速率快, 因此体内养分浓度显著较低。抽穗以后以子粒充实为主, 总的生物量变化较小, 对硫的吸收也逐渐降低。由于抽穗前吸收的硫到成熟期可以转移到子粒, 所以抽穗后从外界吸收的硫量就相对较少。

2.3 硫在小麦体内器官中的分配

小麦吸收到地上部的硫首先累积在叶片中,各处理都是叶片硫浓度最高。拔节期叶茎中硫的浓度相差1倍以上(图4),缺氮引起的缺硫植株(ck)叶、茎硫浓度都明显低于NPK和NPK+S的小麦,其中茎中的浓度下降更多,叶/茎硫浓度比更大,表明缺硫时植株将优先供应需硫部位。抽穗期植株虽然有新的库器官穗,但仍然是叶片中硫浓度高于其他部位,穗的硫浓度与茎相似,叶/茎硫浓度比较拔节期有所提高。成熟期的小麦叶片硫浓度明显下降,说明大量的硫转移出了叶片。穗部虽然颖壳硫含量高于子粒,但其重量比例远较后者低,故穗部的硫浓度变化不大。ck处理的小麦穗部硫浓度远低于供硫充足的处理,这样的子粒的蛋白质组成也会与供硫充足的不同,且营养价值较低。茎是通道,硫浓度基本保持稳定。

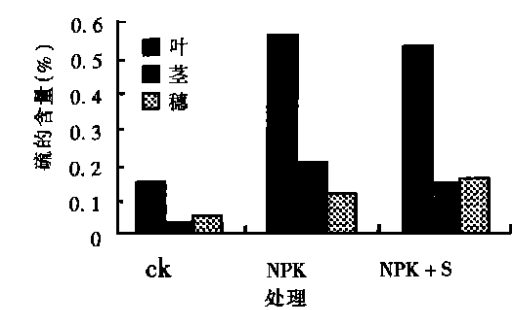


图5 不同处理抽穗期小麦各器官的硫浓度

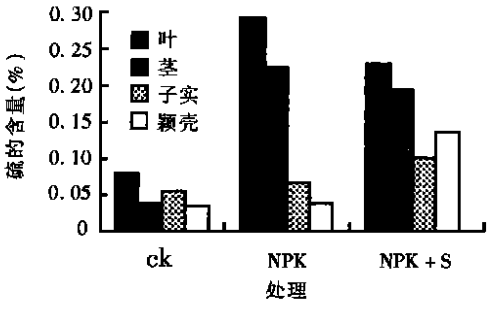


图6 不同处理成熟期小麦各器官的硫浓度

由于各库器官生物量的动态不同,所以各时期地上部硫在库间的分配比例与库中硫浓度大小不完全一致。拔节期小麦叶片硫的浓度高,同时叶片生物量较大,叶中硫的分配比例ck, NPK, NPK+S处理分别占全株总硫量的71.4%,67.9%,65.3%(表4),缺硫的ck叶库比例

表4 拔节期冬小麦植株不同部位的硫量

植株部位	ck		NPK		NPK+S	
	含量 (mg/株)	占全株%	含量 (mg/株)	占全株%	含量 (mg/株)	占全株%
叶	0.70	71.4	2.41	67.9	2.69	65.3
茎	0.28	28.6	1.14	32.1	1.43	34.7
全株	0.98	100.0	3.55	100.0	4.12	100.0

更高,说明拔节前植株从外界吸收的硫主要分配在叶片,其次是茎。抽穗期小麦虽然叶片的硫浓度最高,但其累积的硫量只占全株的1/4~1/3(表5),明显低于拔节期,而茎中硫的累积量显著提高,NPK和NPK+S处理达到了40%多,其次是穗(表5),ck处理的叶片硫累积量降低,茎的累积量不变。成熟期小麦叶片的硫浓度还是最高,但叶片中硫累积量比例继续下降,只占全株的百分之十几,明显低于抽穗期(表6的NPK和NPK+S处理),而茎中硫的绝对累积量显著增加,比例也最高,占全株的52.1%~54.7%,虽然子实的硫浓度明显低于叶片中的,但其硫累积量与叶片的相近,颖壳中的硫累积量是最低的,穗部(子粒+颖壳)硫的含量提高了近50%。由表5和表6可知,抽穗后植株从外界吸收的硫主要分配到茎和穗中,而且叶片中的硫有少部分向外输出。ck处理的子粒硫累积量最高,占全株的44.5%,其他各器官的硫累积量也明显低于NPK和NPK+S处理。

表 5 抽穗期冬小麦植株不同部位的硫量

植株部位	ck		NPK		NPK+ S	
	含量 (mg/株)	占全株%	含量 (mg/株)	占全株%	含量 (mg/株)	占全株%
叶	0.376	29.7	3.38	29.2	2.66	24.6
茎	0.275	21.7	4.66	40.2	4.41	40.7
穗	0.615	48.6	3.55	30.6	3.76	34.7
全株	1.266	100.0	11.59	100.0	10.83	100.0

表 6 成熟期冬小麦植株不同部位的硫量

植株部位	ck		NPK		NPK+ S	
	含量 (mg/株)	占全株%	含量 (mg/株)	占全株%	含量 (mg/株)	占全株%
叶	0.370	18.3	2.70	16.5	2.34	13.8
茎	0.596	29.4	8.96	54.7	8.82	52.1
子实	0.902	44.5	2.80	17.1	3.78	22.3
颖壳	0.159	7.8	1.93	11.8	1.98	11.7
全株	2.027	100.0	16.39	100.0	16.92	100.0

3 结 论

供硫充足的小麦返青后硫的吸收量逐渐增加,在拔节至抽穗期出现一个吸硫高峰,这时应有充足的硫供应,而其浓度在返青时最高,其后不断下降。供硫不足时,小麦出现 2 个吸硫峰值,但吸硫量低,且在拔节至抽穗期出现吸硫低谷。

在供硫充足的土壤上补充硫肥,植株体内的硫浓度、硫的吸收速率和累积量并不增加,对产量也没有明显影响;供硫充足的土壤若氮素供应不足,植株体内的硫浓度、硫的吸收累积也会相应降低,产量明显下降,所以要注意氮、硫源的平衡施用。

小麦一生中各器官的硫浓度和硫的分配比例是不断变化的,供硫充足时叶片的硫浓度始终最高,抽穗前叶片硫的分配比例也是最高的,抽穗后,茎中的硫累积量和分配比例最高。

鸣谢: 本文经黄德明教授审阅并提出宝贵意见,特此致谢!

参考文献:

[1] Singh M V, Saha J K. A review of the sulphur research activities of the ICAR AICRP micro and secondary nutrients project[J]. Sulphur in Agriculture, 1995, 19: 35– 46.

[2] 胡思农. 硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 10– 19.

[3] 范业成, 叶厚专. 江西硫肥肥效及其影响因素研究[J]. 土壤通报, 1994, 25(3): 135– 137.

[4] 张继榛, 竺伟民, 章力干, 等. 安徽省土壤有效硫现状研究[J]. 土壤通报, 1996, 27(5): 222– 225.

[5] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1994. 451– 468.

[6] 中国土壤学会农业化学专业委员会编. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983.

Study on the Characteristics of Sulfur Nutrition of Winter Wheat

WU Jing, LIU Bao cun, SUN Ming de

(Institute of Plant Nutrition and Resources, Beijing Academy of Agricultural
and Forestry Sciences, Beijing 100089, China)

Abstract: Effect of sulfur on winter wheat was studied in microplot experiment. The results showed that the concentration of sulfur in wheat plant decreased sharply after the peak value at reviving stage. Velocity of sulfur uptaking reached the highest value at booting to earing stage for S sufficient wheat plants, while there appeared two peaks for S deficient wheat induced by nitrogen insufficiency. The total amount of sulfur absorbed, and especially that at booting to earing stage, was far lower for S deficient plants than sufficient ones. Sulfur concentration, velocity of acquiring, and amount of absorption didn't increase even if additional sulfur was applied, once sulfur in soil was sufficient. However, sulfur deficiency was observed in sulfur sufficient soil owing to nitrogen deficiency. The concentration and amount of sulfur in organs varied with development of winter wheat. Leaves always had highest S content in S sufficient plants. But proportion of S in leaves decrease steadily. A part of S in leaves was transported out after earing. The amount and proportion of S in stem increased dramatically after earing.

Key words: Sulfur; Winter wheat; Organ; Uptake