

# 北京石灰性草甸土冬小麦营养元素生物循环的特点与锰、锌肥效应\*

陈 铭 谭见安 尹崇仁 朱理徽

(中国科学院地理研究所, 北京 100101)

(北京农业大学植物营养系, 北京 100094)

**摘 要** 本文用盆栽试验研究京郊石灰性草甸土冬小麦养分生物循环的结果表明: 小麦对不同养分吸收、携出和归还数量的差异很大。根据随籽粒携出和以根茬归还的比例特点, 可将养分划分为三种类型: 1) 低归还高携出型 (N、P、K); 2) 低携出高归还型 (Ca、Fe); 3) 中归还中携出型 (Mg、Mn、Cu、Zn)。施锰增加植株对氮和锰的吸收及钾和锰随籽粒的携出; 施锌则降低植株对锰的吸收和随籽粒携出的钾、钙、镁、铁、锰量。锰肥和锌肥有拮抗作用。

**关键词** 冬小麦; 养分循环; 锰肥; 锌肥

土壤-植物系统中养分元素生物循环的研究, 是地理和农业生态系统物质循环的重要环节。对这一过程的研究, 不仅对于阐明地理及农业生态系统的功能是必要的, 而且在生产实践上, 对合理施肥、养地用地、作物配置和国土规划等都是必要的(陈伦寿等, 1984; 陈佐忠等, 1980; 林心雄等, 1992; 黄德华等, 1982)。笔者等人曾就石灰性草甸土施用锰、锌肥对冬小麦生长发育、养分吸收积累和浓度分布模式等效应进行过专门研究(陈铭等, 1989, 1991, 1992, 1993; Chen, M. *et al.*, 1991)。本文进一步探讨施用锰肥和锌肥对冬小麦营养元素生物循环的影响, 为合理施肥和发展高效持久农业提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 盆栽试验

在北京农业大学盆栽试验场进行。土壤采自北京房山县长阳农场, 为永定河冲积物发育的石灰性草甸土。土壤 pH 为 8.9, 有机质含量 0.78%,  $DTPA-Mn = 3.54$  ppm,  $DTPA-Zn = 0.55$  ppm。冬小麦品种“京农 83-41”, 生长期 249 天。试验设对照 (N、P、K,  $N:P_2O_5:K_2O = 0.20:0.15:0.10$ )、施锰 (N、P、K + Mn,  $Mn 39mg \cdot kg^{-1}$ )、施锌 (N、P、K + Zn,  $Zn 27mg \cdot kg^{-1}$ ) 等 3 个处理, 每处理 4 次重复。

### 1.2 样品分析

收获时将样品分为叶片、茎秆(包括叶鞘)、麦糠、籽粒、根系和麦茬(包括老叶)等 6 部分。65℃ 恒温干燥, 测生物量, 然后粉碎。用  $H_2SO_4-H_2O_2$  湿灰化后, 凯氏法定氮, ICP 测磷、钾、钙、镁、铁、锰、铜、锌等。

本文于 1992 年 12 月收到, 1993 年 3 月收到修改稿。

\* 研究过程中得到刘更另、毛达如、陆景陵、曹一平、金耀青、吴金绥等先生的支持和帮助, 特此致谢。

### 1.3 数据处理

根据不同部位生物量和各养分含量计算养分摄取量、携出量、存留量、归还量和归还率、存留率及携出率:

- a. 摄取量: 指根系和地上部养分总和。
- b. 携出量: 指小麦籽粒中的养分积累量。
- c. 存留量: 指叶片、茎秆和麦糠 3 部分所含养分量。
- d. 归还量: 指根系和麦茬中的养分量。
- e. 归还率: 归还量占摄取量的百分率。
- f. 存留率: 存留量占摄取量的百分率。
- g. 携出率: 携出量占摄取量的百分率。

另外,我们计算了每生产 100 g 籽粒时冬小麦对土壤中养分循环的影响。

## 2 试验结果

### 2.1 干物质生产量

从表 1 中可以看出: 在每盆干物质的生产总量中,籽粒携出量占 1/3 强,秸秆存留量近 1/2,根茬归还量仅 1/5—1/6。因此在冬小麦生产中,需用较多的有机肥来平衡因籽粒或秸秆携出农田而造成的土壤物质和能量亏缺。

同时和对照相比,施锰提高而施锌减少小麦总干物重和籽粒产量,并且施锰还显著增加冬小麦通过根系和麦茬向土壤中物质的归还量。

### 2.2 氮磷钾

氮磷钾是农作物生产中最重要三个元素。以前,在华北冬小麦产区主要是氮和磷的缺乏严重,但在目前的集约化高产栽培中,土壤钾素不足已成为生产中的重要问题(PP-IC *et al.*, 1992)。从表 1 中可以看出,氮、磷主要存在于小麦籽粒中,约占养分总吸收量的 60%;叶片、茎秆和麦糠中的存留量仅 1/5,以根茬形式归还的量更少。所以在传统的冬小麦生产中,氮和磷的问题最突出。钾则主要存在于茎秆、叶片和麦糠中,三项总和亦超过 60%。因而如不采取秸秆还田等措施,农田缺钾只是迟早的问题。

另外,和对照比较,施锰增加植株对氮素的摄取量并减少氮、磷在秸秆中的存留。施锌则增加氮在秸秆中的存留。对于钾素,施锰增加而施锌减少籽粒携出量,即锰肥和锌肥的效应相反。笔者最近的研究指出,在冬小麦收获期,施锰和施锌对养分的转移互为拮抗作用<sup>1)</sup>。

### 2.3 钙镁

钙镁是石灰性土壤中最丰富的阳离子养分。在本研究中,钙主要存在于根茬中,约占养分总吸收量的 60%,籽粒携出的量甚少,不足 10%。镁在籽粒、秸秆和根茬中的分配比较均匀,各约 30%。对养分浓度分布模式的研究表明,镁是运输能力中等的元素,在冬小麦籽粒成熟时可以发生一定程度的转移和再分配。相反,钙的被运输能力最小,不能发生转移和再分配(陈铭等,1993)。

和对照相比,施锌减少钙、镁随冬小麦籽粒携出的量,施锰对这两种养分的生物循环

1) 陈铭等: 施用锰、锌肥对冬小麦体内养分积累的效应(待发表)。

表 1 不同处理冬小麦营养元素的生物循环  
Table 1 Biocycling of nutrients in winter wheat with different fertilizer applications

| 项目<br>Items                | 部位<br>Organs  | 处理<br>Treat-<br>ments | 干物重<br>DM<br>g pot <sup>-1</sup> | 10 <sup>-1</sup> g pot <sup>-1</sup> |        |       |        |        |        | 10 <sup>-6</sup> g pot <sup>-1</sup> |         |      |  |
|----------------------------|---------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------------------------------------|---------|------|--|
|                            |               |                       |                                  | 氮 N                                  | 磷 P    | 钾 K   | 钙 Ca   | 镁 Mg   | 铁 Fe   | 锰 Mn                                 | 铜 Cu    | 锌 Zn |  |
| 携出<br>Taking-out           | 籽粒<br>Grains  | N.P.K                 | 18.7 B b                         | 90 a                                 | 68 B   | 15 A  | 27 ABa | 1.1 A  | 316 B  | 70 a                                 | 980 B   |      |  |
|                            |               | N.P.K+Mn              | 21.2 A a                         | 92 a                                 | 79 A   | 14 A  | 28 A a | 0.9 AB | 412 A  | 83 a                                 | 940 B   |      |  |
|                            |               | N.P.K+Zn              | 15.5 B c                         | 80 a                                 | 51 C   | 9 B   | 22 B b | 0.6 B  | 231 C  | 72 a                                 | 1840 A  |      |  |
| 存留<br>Deposition           | 叶片<br>Leaves  | N.P.K                 | 4.4 a                            | 6 a                                  | 36 A   | 52 a  | 14 a   | 3.9 a  | 174 AB | 31 a                                 | 1720 a  |      |  |
|                            |               | N.P.K+Mn              | 4.9 a                            | 5 a                                  | 29 B   | 55 a  | 14 a   | 3.8 a  | 203 A  | 35 a                                 | 2140 a  |      |  |
|                            |               | N.P.K+Zn              | 4.4 a                            | 6 a                                  | 40 A   | 58 a  | 15 a   | 3.3 a  | 149 B  | 30 a                                 | 1360 a  |      |  |
| 存留<br>Deposition           | 茎秆<br>Culms   | N.P.K                 | 14.5 ab                          | 9 a                                  | 210 a  | 56 a  | 14 a   | 1.1 a  | 175 B  | 56 a                                 | 660 a   |      |  |
|                            |               | N.P.K+Mn              | 14.8 a                           | 7 a                                  | 187 a  | 55 a  | 14 a   | 1.5 a  | 196 A  | 67 a                                 | 830 a   |      |  |
|                            |               | N.P.K+Zn              | 13.2 b                           | 9 a                                  | 224 a  | 59 a  | 16 a   | 1.0 a  | 164 B  | 65 a                                 | 840 a   |      |  |
| 存留<br>Deposition           | 麦糠<br>Husks   | N.P.K                 | 6.7 a                            | 10 a                                 | 61 a   | 21 a  | 6 a    | 1.4 a  | 122 a  | 30 a                                 | 390 a   |      |  |
|                            |               | N.P.K+Mn              | 6.6 a                            | 7 b                                  | 54 a   | 19 a  | 6 a    | 1.5 a  | 136 a  | 26 a                                 | 650 a   |      |  |
|                            |               | N.P.K+Zn              | 6.1 a                            | 13 a                                 | 54 a   | 20 a  | 7 a    | 1.5 a  | 132 a  | 32 a                                 | 640 a   |      |  |
| 归还<br>Returning<br>to soil | 小计<br>Sum     | N.P.K                 | 25.6 ab                          | 25 a                                 | 307 a  | 129 a | 34 a   | 6.4 a  | 471 ab | 117 a                                | 2770 b  |      |  |
|                            |               | N.P.K+Mn              | 26.3 a                           | 19 a                                 | 270 a  | 129 a | 34 a   | 6.8 a  | 535 a  | 128 a                                | 3620 a  |      |  |
|                            |               | N.P.K+Zn              | 23.7 b                           | 27 a                                 | 318 a  | 137 a | 38 a   | 5.8 a  | 445 b  | 127 a                                | 2840 b  |      |  |
| 归还<br>Returning<br>to soil | 根<br>Roots    | N.P.K                 | 5.4 ABb                          | 11 a                                 | 34 AB  | 67 a  | 7 a    | 9.5 a  | 317 ab | 72 a                                 | 160 B   |      |  |
|                            |               | N.P.K+Mn              | 6.1 A a                          | 10 a                                 | 25 B   | 73 a  | 7 a    | 5.4 a  | 366 a  | 74 a                                 | 160 B   |      |  |
|                            |               | N.P.K+Zn              | 4.9 B b                          | 9 a                                  | 37 A   | 61 a  | 6 a    | 5.7 a  | 248 a  | 56 a                                 | 470 A   |      |  |
| 归还<br>Returning<br>to soil | 茬<br>Stubbles | N.P.K                 | 9.2 b                            | 14 a                                 | 99 a   | 141 a | 25 a   | 12.2 a | 499 a  | 65 a                                 | 3420 a  |      |  |
|                            |               | N.P.K+Mn              | 10.3 a                           | 15 a                                 | 102 a  | 143 a | 23 a   | 10.6 a | 582 a  | 58 a                                 | 3200 a  |      |  |
|                            |               | N.P.K+Zn              | 9.9 ab                           | 101 a                                | 111 a  | 162 a | 28 a   | 12.2 a | 513 a  | 78 a                                 | 3570 a  |      |  |
| 吸收<br>Absorption           | 小计<br>Sum     | N.P.K                 | 14.6 b                           | 25 a                                 | 133 a  | 208 a | 32 a   | 21.7 a | 816 b  | 137 a                                | 3580 ab |      |  |
|                            |               | N.P.K+Mn              | 16.4 a                           | 25 a                                 | 127 a  | 216 a | 30 a   | 16.0 a | 948 a  | 132 a                                | 3360 b  |      |  |
|                            |               | N.P.K+Zn              | 14.8 b                           | 25 a                                 | 148 a  | 223 a | 34 a   | 17.9 a | 761 b  | 134 a                                | 4040 a  |      |  |
| 吸收<br>Absorption           | 总计<br>Total   | N.P.K                 | 53.4 B                           | 143 a                                | 496 AB | 349 a | 92 a   | 29.6 a | 1617 B | 336 a                                | 7450 a  |      |  |
|                            |               | N.P.K+Mn              | 58.3 A                           | 136 a                                | 466 B  | 360 a | 91 a   | 23.7 b | 1896 A | 344 a                                | 7770 a  |      |  |
|                            |               | N.P.K+Zn              | 49.0 C                           | 135 a                                | 516 A  | 369 a | 94 a   | 24.4 b | 1328 C | 329 a                                | 8760 a  |      |  |

英文字母的大写表示差异极显著( $p=0.01$ ), 小写表示差异显著( $p=0.05$ ), LSR-T法 (以下各表同)

Means in the same column are significantly different at  $p=0.01$  (indicated by capital letters) or at  $p=0.05$  (indicated by small letters) by the methods of LSR-T (Table 2 and Table 3 are the same as Table 1)

无显著影响。

## 2.4 铁锰铜锌

铁锰铜锌是石灰性土壤上易于缺乏的微量元素。近年来,有关小麦缺锰、缺锌和缺铜的报道不断增多(陈铭等,1989;吴政,1992;谢振翅,1986),大面积小麦缺铁的报道尚不多。黄德华等(1982)认为,小麦对铁的吸收量较高,是田间花生和玉米吸铁量的4倍以上。在本研究中,小麦吸收的铁主要存在于根茬中,约占植株铁摄取总量的70%。叶片、茎秆和麦糠中存留的铁约占25%,籽粒铁含量极少,仅占1/40—1/30。相反,锰、铜、锌在冬小麦籽粒、秸秆和根茬中的分配相对均匀,分别约占各自养分总摄取量的20%、30%和50%。也就是说,在4种微量元素中,种植冬小麦对土壤中铁库存的影响最小。林心雄等(1992)资料表明,在太湖地区,锰、铜、锌三元素在麦类作物茎秆中的含量分别占全株吸取总量的50%、30%和20%,与我们的结果一致。

从表1中可以看出,和对照比较,施锰和施锌均显著减少冬小麦对铁的吸收量,施锌肥还显著减少籽粒中铁的携出量。同时,施锰肥极显著增加冬小麦对锰的摄取量和携出量,施锌则具有相反的效应。另外,施锰还显著增加锰的归还量和存留量;施锌则极显著增加锌的携出量和归还量。

## 3 讨论

### 3.1 不同养分生物循环的数量特点

从表1中可以看出,不同养分的吸收、携出量、存留量和归量还具有不同的数量特点:

- a. 养分摄取量: 氮>钾>钙>磷>镁>铁>锌>锰>铜。
- b. 养分摄取量: 氮>磷>钾>镁>钙>铁>锌>锰>铜。
- c. 养分存留量: 钾>氮>钙>镁>磷>铁>锌>锰>铜。
- d. 养分归还量: 钙>氮>钾>镁>磷>铁>锌>锰>铜。

为此,可以把上述元素分为5种类型: 1)NK,高摄取高携出高存留高归还型; 2)P,中摄取高携出中存留中归还型; 3)Ca,高摄取中携出高存留高归还型; 4)Mg,中摄取中携出中存留中归还型; 5)FeZnMnCu,低摄取低携出低存留低归还型。

因此,在京郊石灰性草甸土冬小麦生产中,若以元素计,NK是需要最多的养分,P最容易表现出亏缺,接着是Mg,然后是Fe、Zn、Mn、Cu;而钙则不容易亏缺。

### 3.2 不同养分归还和携出的比例特点

从表2中可以看出,不同养分的携出率、存留率和归还率差别很大。表现在:

- a. 携出率: 磷>氮>镁>铜>锰>锌>钾>铁>钙。
- b. 存留率: 钾>锌>钙>镁>铜>锰>铁>氮>磷。
- c. 归还率: 铁>钙>锰>锌>铜>镁>钾>磷>氮。

据此,可将上述9元素分为三种不同类型: 1)NP,低归还率高携出率;归还率<20%,携出率>60%,对土壤养分库存的影响最大。考虑到当前农业生产中很少将秸秆完全归还到土壤中去,所以K也暂可划归到这一类型。2)FeCa,养分携出率<10%,归还率>50%;属低携出率而高归还率,对土壤中养分库存的影响最小。3)MgCuZnMn,养分归还

表2 不同处理冬小麦养分元素的携出和归还比率  
Table 2 Percentages of nutrients being taken-out and returned to soil in winter wheat production by different microelement fertilizer applications (%)

| 项目                       | 处理                                 | N                    | P                    | K                    | Ca                   | Mg                   | Fe                   | Mn                   | Cu                   | Zn                   |
|--------------------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 携出率<br>Taking-out        | 籽粒<br>Grains                       | 62.0<br>64.2<br>57.0 | 65.0<br>67.6<br>71.5 | 13.6<br>14.8<br>9.7  | 3.4<br>4.2<br>2.5    | 28.2<br>29.6<br>23.4 | 5.1<br>3.8<br>2.8    | 20.4<br>22.0<br>9.2  | 24.4<br>24.4<br>20.7 | 14.7<br>10.2<br>21.5 |
|                          | 籽粒+秸秆<br>Grains+Straws             | 82.8<br>81.9<br>81.7 | 82.5<br>81.6<br>91.5 | 75.5<br>72.7<br>71.3 | 40.4<br>40.0<br>39.6 | 65.2<br>67.0<br>63.8 | 26.7<br>32.5<br>26.6 | 49.5<br>50.0<br>42.7 | 59.2<br>61.6<br>59.3 | 51.9<br>56.8<br>53.9 |
|                          | 根<br>Roots                         | 17.2<br>18.1<br>18.3 | 17.5<br>18.4<br>8.5  | 26.8<br>27.3<br>28.7 | 59.6<br>60.0<br>60.4 | 34.8<br>33.0<br>36.2 | 73.3<br>67.5<br>73.4 | 50.5<br>50.0<br>57.3 | 40.8<br>38.4<br>40.7 | 48.1<br>43.2<br>46.1 |
| 归还率<br>Returning to soil | 根+秸秆<br>Straws+roots<br>& stubbles | 38.0<br>35.8<br>43.0 | 35.0<br>32.4<br>28.5 | 86.4<br>85.2<br>90.3 | 96.6<br>95.8<br>97.5 | 71.8<br>70.4<br>76.6 | 94.9<br>96.2<br>97.2 | 79.6<br>78.0<br>90.8 | 75.6<br>75.6<br>79.3 | 86.3<br>89.8<br>78.5 |

表3 每生产100g籽粒时的养分摄取量、携出量、存留量和归还量  
Table 3 Amounts of nutrients being absorbed, taken-out, deposited, and returned to the soil when 100g grains to be produced (10<sup>-3</sup>g)

| 项目                    | 处理       | N    | P   | K    | Ca   | Mg  | Fe  | Mn   | Cu   | Zn   |
|-----------------------|----------|------|-----|------|------|-----|-----|------|------|------|
| 摄取量<br>Absorption     | N.P.K    | 5240 | 765 | 2652 | 1866 | 492 | 158 | 8.64 | 1.80 | 39.8 |
|                       | N.P.K+Mn | 4834 | 642 | 2198 | 1698 | 429 | 112 | 8.94 | 1.62 | 36.7 |
|                       | N.P.K+Zn | 6225 | 871 | 3329 | 2380 | 606 | 157 | 8.57 | 2.12 | 36.5 |
| 携出量<br>Taking-out     | N.P.K    | 3235 | 481 | 364  | 80   | 144 | 6   | 1.69 | 0.37 | 5.2  |
|                       | N.P.K+Mn | 3108 | 433 | 373  | 66   | 132 | 4   | 1.94 | 0.39 | 4.4  |
|                       | N.P.K+Zn | 3548 | 516 | 329  | 58   | 142 | 4   | 1.49 | 0.46 | 11.9 |
| 存留量<br>Deposition     | N.P.K    | 1091 | 134 | 1642 | 690  | 182 | 34  | 2.52 | 0.63 | 14.8 |
|                       | N.P.K+Mn | 854  | 90  | 1274 | 608  | 160 | 32  | 2.52 | 0.60 | 17.1 |
|                       | N.P.K+Zn | 1535 | 174 | 2051 | 884  | 245 | 37  | 2.87 | 0.82 | 18.3 |
| 归还量<br>Return-to-soil | N.P.K    | 914  | 150 | 556  | 1096 | 166 | 118 | 4.44 | 0.80 | 19.8 |
|                       | N.P.K+Mn | 872  | 119 | 551  | 1024 | 137 | 76  | 4.48 | 0.63 | 15.2 |
|                       | N.P.K+Zn | 1142 | 181 | 949  | 1438 | 209 | 116 | 4.21 | 0.84 | 26.3 |

率一般为 1/3—1/2, 携出率约 20—30%, 属于上述两组之间, 属中归还率中携出率, 对土壤养分库存的影响中等。

### 3.3 生产百克籽粒时的养分消耗量

目前的冬小麦生产仍以经济产量为其主要目的。而以每生产一定量籽粒所消耗的养分量仍是计算农田作物平衡施肥的依据(陈伦寿等, 1984)。从表 3 中可以看出:

a. 每生产 100 g 冬小麦籽粒从土壤中吸取的 NKCa 超过其它大量元素。在微量养分中, Fe 的吸收量明显大于 Mn、Cu、Zn。其中, 如何控制并减少被作物“奢侈”吸收的养分, 减少土壤养分库的消耗, 是土壤生态学家和植物育种工作者共同关心的问题。

b. 随籽粒收获而携出的养分量为: 氮 3.11—3.55 g; 磷 0.43—0.52 g; 钾 0.33—0.37 g; 钙 0.06—0.08 g; 镁 0.13—0.14 g; 铁 4—6 mg; 锰 2 mg; 铜 0.4—0.5 mg; 锌 4—12 mg。根据李比希养分归还学说, 这些养分应当以施肥方式补充到土壤中去, 否则会导致土壤和农业生态系统中养分的亏缺。

c. 以秸秆存留的养分量依次为: 氮 0.85—1.54 g; 磷 0.09—0.17 g; 钾 1.27—2.05 g; 钙 0.61—0.88 g; 镁 0.16—0.25 g; 铁 32—34 mg; 锰 3 mg; 铜 0.6—0.8 mg; 锌 15—18 mg。这部分养分如果随秸秆还田, 就能减少土壤和农业生态系统中能量和物质的损耗。如将秸秆燃烧后再还田, 不仅会造成能量和氮素损失, 钾、镁等养分也会部分被流失。当然, 如将秸秆全部携出农田而不考虑归还, 就加剧了土壤中的养分耗竭, 是最应当避免的农业措施。

d. 根茬养分归还量大小为: 氮 0.91—1.14 g; 磷 0.12—0.18 g; 钾 0.55—0.95 g; 钙 1.02—1.44 g; 镁 0.14—0.21 g; 铁 76—118 mg; 锰 4.2—4.5 mg; 铜 0.6—0.8 mg; 锌 15—26 mg。这些养分一般能随根茬归还到土壤中去, 是土壤养分库存的一项重要来源。

### 3.4 锰肥和锌肥对冬小麦养分循环的效应

a. 和对照相比, 施锰增加冬小麦对氮和锰的摄取量和对钾、锰的携出量。这同鲍士旦等(1992)对啤酒大麦的研究结果一致。施锌减少植株对铁和锰的摄取量和钾、钙、镁、铁、锰的携出量(见表 1), 但增加锌的携出量的归还量, 从而对养分生物循环的数量特点产生影响。

b. 施锰提高冬小麦对氮和磷的携出率, 但减少铜、锌、铁的归还率; 施锌则提高磷、锌的携出率, 降低氮、钾、钙、镁、铁、锰、铜的携出率, 并增加氮、磷、钾、镁、锰的归还率(见表 2), 从而影响冬小麦生产中养分生物循环的比例特点。

c. 施锰减少但施锌增加每生产 100 g 籽粒时冬小麦对氮、磷、钾、钙、镁、铜、锌等元素的摄取量和归还量。同时, 施锰减少氮、磷、钾、钙、镁等养分的携出量和存留量, 施锌则增加氮、磷、铜、锌的携出量而减少钾、钙、铁、锰的携出量, 并且还增加 9 种养分的存留量(见表 3)。也就是说, 施锰肥可以使冬小麦更经济地利用土壤中的养分, 施锌肥具有相反的作用。以长远的观点和农业持续发展的角度而言, 对于缺素土壤有针对性地施用微肥, 是微肥生产、销售和应用的战略之一。

## 4 结论

a. 京郊石灰性草甸土冬小麦生产中不同营养元素吸收、携出、归还和存留的数量差

异很大。其中氮和钾是需要最多的养分,磷最易于表现亏缺,其次是镁,接着是锌、铜、锰,钙和铁则不容易缺乏。

**b.** 根据养分随籽粒携出和以根茬形式归还的比例特点,可将营养元素划分为三种类型: 1)低归还高携出型, NPK, 归还率 $<20\%$ , 携出率 $>60\%$ ; 2)高归还低携出型: CaFe, 归还率 $>50\%$ , 携出率 $<10\%$ ; 3)中归还中携出型: Mg, Mn, Cu, Zn, 携出率约 $20-30\%$ , 归还率约 $33-50\%$ 。

**c.** 每生产 $100\text{ g}$ 籽粒从土壤中携出的养分量为: 氮 $3.11-3.55\text{ g}$ ; 磷 $0.43-0.52\text{ g}$ ; 钾 $0.33-0.37\text{ g}$ ; 钙 $0.06-0.08\text{ g}$ ; 镁 $0.13-0.14\text{ g}$ ; 铁 $4-6\text{ mg}$ ; 锰 $2\text{ mg}$ ; 铜 $0.4-0.5\text{ mg}$ ; 锌 $4-12\text{ mg}$ 。这些养分须以肥料形式归还土壤。其余部分的养分可以秸秆或根茬形式归还到土壤和农业生态循环中去。

**d.** 施锰可增加植株对氮和锰的摄取和随籽粒携出的钾、锰量; 施锌则减少植株对锰的摄取和随籽粒携出的钾、钙、镁、铁、锰量, 但增加植株对锌的摄取量、携出量和归还量。锰肥和锌肥的效应相左。

### 参 考 文 献

- 陈铭等, 1989: 锰、锌肥对冬小麦营养效应的研究, 中国农业科学, 22(4)58—64。
- 陈铭等, 1992: 施用锰锌肥对冬小麦体内营养元素浓度的效应, 中国农业科学, 25(4)60—69。
- 陈铭等, 1993: 锰、锌肥对冬小麦体内养分浓度与积累效应的研究, 硫镁和微量元素在作物营养平衡中的作用国际学术讨论会论文集。
- 陈伦寿等主编, 1984: 农田施肥原理与实践, 农业出版社, 1—17, 169—224。
- 陈佐忠等, 1980: 北京平原地区夏播作物对氮及灰分元素摄取量的比较研究, 土壤通报, 11(4)。
- 吴政, 1992: 小麦缺铜症的诊断及铜肥施用技术的研究, 土壤肥料, (4)33—34。
- 林心雄等, 1992: 太湖地区作物体内微量元素的分布及其再循环, 土壤, 24(1)9—13。
- 黄德华等, 1982: 北京地区耕地碳酸盐褐土不同农作物及灰分元素生物循环的比较研究, 植物生态学与地植物学丛刊, 6(2)120—130。
- 谢振翅, 1986: 发展中的农业微量元素和八十年代的锌素研究, 微量元素肥料研究与应用, 湖北科学技术出版社, 1—17。
- 鲍士旦等, 1992: 啤酒大麦的锰营养及锰肥对其产量和品质的影响, 土壤通报, 23(5)222—224。
- Chen, M. and Yin, C. R., 1991: Effect of manganese and zinc fertilizers on nutrient balance and deficiency diagnosis of winter wheat crops in pot experiment, In S. Portch(ed.), Proceedings of the International Symposium on the Role of Sulphur, Magnesium and Micronutrients in Balanced Plant Nutrition, pp.369—378。
- PPIC and SFI, CAAS, 1992: Proceedings of the Third International Symposium on Maximum Yield Research, September 6—8, 1992, Beijing, China, China Agricultural Sciencetech Press.

## BIOCYCLING OF NINE NUTRIENT ELEMENTS IN WINTER WHEAT ON A CALCAREOUS ALLUVIAL SOIL FROM BEIJING

Chen Ming      Tan Jian-an

(*Institute of Geography, the Chinese Academy of Science, Beijing 100101*)

Yin Chong-ren      Zhu Li-hui

(*Beijing Agricultural University, Beijing 100094*)

### Abstract

In this paper, we report the results of a series of greenhouse pot experiments designed to investigate the biocycling of nine mineral elements in winter wheat on a calcareous alluvial soil collected from Beijing region. The results showed that there were significant differences among the quantities and ratios of different nutrients as regard to their uptake and output by plants and the amount returned to the soil. We grouped these nutrient elements into three types in accordance with the percentages of output by plants and the amount returned to the soil.

1) The type of low returning and high output rates included N, P and K, which generally had returning rate of less than 20% and output rate of greater than 60%.

2) The type of high returning and low output rates was composed of Ca and Fe, which had returning rate of greater than 50% and output rate of less than 10%.

3) The type of moderate returning and moderate output rates consisted of Mg, Mn, Cu and Zn, which had returning rate falling between 33—50%, and output rate falling between 20—30%.

The total uptake of N and Mn by winter wheat plants and the output or removal of K by grains generally increased due to the application of Mn fertilizers. While the total output or removal of K, Ca, Mg, Fe and Mn by grains and the total uptake of Mn by plants decreased with the application of Zn fertilizer. The effects of Mn and Zn fertilizers on the biocyclings of some nutrient elements in winter wheat on a calcareous alluvial soil in Beijing region were quite antagonistic.

**Key words** Winter wheat; Nutrient cycling; Mn fertilizers; Zn fertilizer