

平凉市黑垆土土壤养分平衡状况及其评价

李亚孺, 涂国良

(平凉市农业技术推广站, 甘肃 平凉 744000)

摘要: 经对27年耕地长期定位点黑垆土土壤不同时期不同施肥制度养分平衡状况的分析表明: 在目前施肥制度和小麦—玉米种植制度下, 平凉黑垆土土壤养分收支平衡情况无论是不同时期还是不同施肥制度总趋势均氮素基本平衡, 磷素有盈余, 钾素亏缺。以氮磷钾配合有机肥施用对土壤养分收支平衡效果较好, 建议合理高效利用磷肥, 以“稳氮减磷增钾”为施肥原则。

关键词: 黑垆土; 施肥制度; 养分平衡; 养分允许平衡盈亏率; 评价

中图分类号: S147.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2021)06-0055-04

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2021.06.014

土壤是构成生态系统的基本要素, 而养分循环是土壤生态系统最基本的功能之一。农业的持续发展要求必须加强对养分循环和平衡的研究^[1]。近年来平衡施肥技术的推广, 对平凉市农业生产的持续稳定发展起到了重要的作用, 但由于片面依靠化肥投入, 特别是偏施肥造成土壤理化性状变劣、土壤生产力和生物多样性下降等问题日益突出^[2]。开展土壤养分平衡状况研究, 正确认识和科学分析长期不同施肥制度造成的土壤投入与产出失衡并进行评价, 对农业的可持续发展, 保证粮食安全具有重要的意义。

1 试验区概况

长期定位不同施肥制度试验设在平凉市崆峒区大寨回族乡白土村, 供试土壤为黑垆土。当地海拔1550 m, 35.39° N, 106.84° E。年平均温度7.6℃, ≥ 10 ℃积温4500℃, 年降水量480 mm左右, 年蒸发量1530 mm, 无霜期150 d左右。主要农作物有小麦、玉米, 种植制度1年1熟。该处土质疏松, 蓄水保肥性好, 无障碍层次, 适宜旱

作。

2 试验方法

试验设置长期定位3个不同施肥制度, 即: 1)氮磷区(NP); 2)氮磷钾区(NPK); 3)常规区(农民习惯施肥)。播种、田间管理等按丰产大田要求进行。1994年春季开始设立定位监测点, 按照《全国土壤监测技术规程》和试验一般原则, 每年作物播前采集耕层土样, 化验有机质、全氮、碱解氮、有效磷、速效钾, 并记载施肥、耕作和产量等情况。

为剖析平凉市旱地黑垆土土壤-作物系统内养分平衡情况, 就氮磷区(NP)、氮磷钾区(NPK)、常规区(农民习惯施肥)养分投入与产出状况进行分析和评价。为便于汇总与分析, 将1994—2020年长期定位试验分成不同时期, 即: 八五期间(1994—1995年)、九五期间(1996—2000年)、十五(2001—2005)、十一五期间(2006—2010年)、十二五期间(2011—2015)、十三五期间(2016—2020年)。试验养分平衡只涉及化肥和有机肥的投入, 支出项中只涉及作物籽粒和茎叶

收稿日期: 2021-03-02

作者简介: 李亚孺(1986—), 女, 甘肃平凉人, 农艺师, 主要从事农业技术推广工作, 联系电话: (0)15095530097。Email: 277304673@qq.com

的带走部分,并以投入和支出的差值表示养分的平衡值,以投入和支出之比表示平衡系数。

中国科学院南京土壤研究所鲁如坤等^[3]在1996年根据土壤肥力状况,作物对养分的反应等提出养分允许平衡盈亏率对农田养分平衡状况进行评价的方法和原则,即:养分允许平衡盈亏率是指在当地条件下,养分虽有亏缺或盈余,但不影响作物产量,也不造成养分浪费或环境污染。简称B%,其计算公式为:

$$B\% = \{[(1-S)/E] - 1\} \times 100\%$$

式中: S—土壤养分贡献率,与增产率D的关系是 $S=1/(1+D)$

E—肥料养分利用率

实际平衡盈亏率用投入和支出的差值占支出的百分率表示,其计算方法为:

$$\text{实际平衡盈亏率}(\%) = (\text{投入}/\text{支出} - 1) \times 100。$$

3 结果与分析

3.1 土壤养分平衡状况

养分循环是生态系统最基本的功能之一^[4]。人为因素控制下的农业生态系统养分循环是建立可持续农业的物质基础,而施肥是影响农田生态系统养分循环的主要因素之一^[5]。通过对监测点不同施肥制度下各时期养分“输入”与“输出”的分析得出养分平衡状况(表1、2、3)。

从资料汇总分析得出,无论是不同施肥制度还是不同时期,氮素平衡值为-65.0~

表1 氮素养分平衡状况

| 时期 | 氮磷区(NP) | | | | 氮磷钾区(NPK) | | | | 常规区 | | | |
|-----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|
| | 投入量 (kg/hm ²) | 支出量 (kg/hm ²) | 平衡值 (kg/hm ²) | 平衡 系数 | 投入量 (kg/hm ²) | 支出量 (kg/hm ²) | 平衡值 (kg/hm ²) | 平衡 系数 | 投入量 (kg/hm ²) | 支出量 (kg/hm ²) | 平衡值 (kg/hm ²) | 平衡 系数 |
| 八五 | 150.0 | 152.4 | -2.4 | 0.98 | 150.0 | 160.8 | -10.8 | 0.93 | 154.5 | 169.6 | -15.1 | 0.91 |
| 九五 | 150.0 | 106.8 | 43.2 | 1.40 | 150.0 | 114.4 | 35.6 | 1.31 | 149.9 | 107.4 | 42.5 | 1.40 |
| 十五 | 156.0 | 145.2 | 10.8 | 1.07 | 156.0 | 171.0 | -15.0 | 0.91 | 137.6 | 156.9 | -19.4 | 0.88 |
| 十一五 | 161.4 | 146.1 | 15.3 | 1.10 | 161.4 | 158.6 | 2.8 | 1.02 | 165.0 | 167.4 | -2.4 | 0.99 |
| 十二五 | 169.5 | 197.9 | -28.4 | 0.86 | 169.5 | 211.6 | -42.1 | 0.80 | 191.0 | 204.9 | -14.0 | 0.93 |
| 十三五 | 150.3 | 211.3 | -61.0 | 0.71 | 150.3 | 215.3 | -65.0 | 0.70 | 214.4 | 227.1 | -12.8 | 0.94 |
| 平均 | 156.2 | 160.0 | -3.8 | 1.02 | 156.2 | 172.0 | -15.8 | 0.95 | 168.7 | 172.2 | -3.5 | 1.01 |

表2 磷素养分平衡状况

| 时期 | 氮磷区(NP) | | | | 氮磷钾区(NPK) | | | | 常规区 | | | |
|-----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|
| | 投入量 (kg/hm ²) | 支出量 (kg/hm ²) | 平衡值 (kg/hm ²) | 平衡 系数 | 投入量 (kg/hm ²) | 支出量 (kg/hm ²) | 平衡值 (kg/hm ²) | 平衡 系数 | 投入量 (kg/hm ²) | 支出量 (kg/hm ²) | 平衡值 (kg/hm ²) | 平衡 系数 |
| 八五 | 90.0 | 23.8 | 66.2 | 3.79 | 90.0 | 26.4 | 63.6 | 3.41 | 72.0 | 28.1 | 43.9 | 2.56 |
| 九五 | 114.0 | 20.2 | 93.8 | 5.65 | 114.0 | 21.0 | 93.0 | 5.44 | 90.5 | 21.4 | 69.1 | 4.23 |
| 十五 | 120.0 | 28.0 | 92.0 | 4.29 | 120.0 | 31.2 | 88.8 | 3.85 | 98.7 | 31.5 | 67.2 | 3.13 |
| 十一五 | 103.2 | 22.8 | 80.4 | 4.53 | 103.2 | 29.2 | 74.0 | 3.54 | 116.7 | 36.4 | 80.3 | 3.20 |
| 十二五 | 114.0 | 36.5 | 77.5 | 3.13 | 114.0 | 41.0 | 73.0 | 2.78 | 95.7 | 39.5 | 56.2 | 2.43 |
| 十三五 | 72.0 | 34.0 | 38.0 | 2.12 | 72.0 | 37.1 | 34.9 | 1.94 | 60.8 | 37.1 | 23.6 | 1.64 |
| 平均 | 102.2 | 27.6 | 74.7 | 3.92 | 102.2 | 31.0 | 71.2 | 3.49 | 89.1 | 32.3 | 56.7 | 2.87 |

43.2 kg/hm², 平均平衡值为 -7.7 kg/hm², 平衡系数为 0.70 ~ 1.40, 平均平衡系数为 0.99, 基本处于平衡状态。但由于消化、反消化、淋溶等多种途径散失^[6], 可能实际在土壤中积累量要低于此值。

磷素平衡值为 23.6 ~ 93.8 kg/hm², 平均平衡值为 67.5 kg/hm², 平衡系数为 1.64 ~ 5.65, 平均平衡系数为 3.43, 处于不平衡状态。磷素具有移动性差、容易被土壤固定、当季利用率较低的特点^[7], 实际在土壤中积累量要高于此值。

钾素平衡值为 -156.6 ~ 23.1 kg/hm², 平均平衡值为 -92.9 kg/hm², 平衡系数为 0.07 ~ 1.28, 平均平衡系数 0.44, 处于不平

衡状态。由于土壤交换性钾是钾库中最不稳定的部分, 一方面外来钾源数量非常小, 导致土壤钾库消耗增加; 另一方面当土壤速效钾因作物吸收而降低时, 一些原为非交换态的钾可能转化为水溶态或交换态钾, 从而变为对植物有效^[8]。

3.2 养分允许平衡盈亏率

对近年来平凉市化肥利用率田间试验数据汇总分析表明, 氮肥养分贡献率及利用率分别为 29.1%、38.4%, 磷肥养分贡献率及利用率分别为 17.5%、23.1%, 钾肥养分贡献率及利用率分别为 7.7%、60.6%。

通过表 4 可以得出, 平凉市氮肥养分允许平衡盈亏率为 -36.2%, 而实际平衡盈亏

表 3 钾素养分平衡状况

| 时期 | 氮磷区(NP) | | | 氮磷钾区(NPK) | | | | 常规区 | | | |
|-----|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|
| | 投入量 (kg/hm ²) | 支出量 (kg/hm ²) | 平衡值 (kg/hm ²) | 投入量 (kg/hm ²) | 支出量 (kg/hm ²) | 平衡值 (kg/hm ²) | 平衡 系数 | 投入量 (kg/hm ²) | 支出量 (kg/hm ²) | 平衡值 (kg/hm ²) | 平衡 系数 |
| 八五 | 0 | 132.2 | -132.2 | 76.5 | 132.2 | -55.7 | 0.58 | 14.4 | 133.8 | -119.4 | 0.11 |
| 九五 | 0 | 81.2 | -81.2 | 105.3 | 82.2 | 23.1 | 1.28 | 10.8 | 77.4 | -66.6 | 0.14 |
| 十五 | 0 | 111.0 | -111.0 | 108.0 | 127.2 | -19.2 | 0.85 | 29.6 | 109.8 | -80.2 | 0.27 |
| 十一五 | 0 | 156.6 | -156.6 | 90.0 | 162.5 | -72.5 | 0.55 | 11.3 | 153.8 | -142.6 | 0.07 |
| 十二五 | 0 | 122.0 | -122.0 | 92.9 | 139.9 | -47.0 | 0.66 | 16.5 | 127.9 | -111.4 | 0.13 |
| 十三五 | 0 | 144.9 | -144.9 | 51.4 | 161.6 | -110.2 | 0.32 | 39.4 | 162.2 | -122.8 | 0.24 |
| 平均 | 0 | 124.7 | -124.7 | 87.4 | 134.3 | -46.9 | 0.71 | 20.3 | 127.5 | -107.2 | 0.16 |

表 4 养分允许平衡盈亏率

| 处理 | 土壤养分 处理 | 土壤养分 贡献率(S) /% | 肥料养分 利用率(E) /% | 允许平衡 盈亏率 /% | 实际平衡盈亏率/% | | | | | | |
|------|-------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | 八五 | 九五 | 十五 | 十一五 | 十二五 | 十三五 | 平均 |
| 氮磷区 | N | 75.5 | 38.4 | -36.2 | -1.6 | 40.4 | 7.5 | 10.4 | -14.3 | -28.9 | 2.3 |
| | P ₂ O ₅ | 85.1 | 23.1 | -35.5 | 278.5 | 464.6 | 328.7 | 353.2 | 212.5 | 112.0 | 291.6 |
| 氮磷钾区 | N | 75.5 | 38.4 | -36.2 | -6.7 | 31.1 | -8.8 | 1.8 | -19.9 | -30.2 | -5.5 |
| | P ₂ O ₅ | 85.1 | 23.1 | -35.5 | 240.9 | 443.6 | 284.6 | 253.9 | 177.8 | 94.0 | 249.1 |
| | K ₂ O | 92.8 | 60.6 | -89.1 | -42.1 | 28.1 | -15.1 | -44.6 | -33.6 | -68.2 | -29.3 |
| 常规区 | N | 75.5 | 38.4 | -36.2 | -8.9 | 39.6 | -12.3 | -1.4 | -6.8 | -5.6 | 0.8 |
| | P ₂ O ₅ | 85.1 | 23.1 | -35.5 | 156.0 | 322.5 | 213.0 | 220.4 | 142.5 | 63.6 | 186.3 |
| | K ₂ O | 92.8 | 60.6 | -89.1 | -89.2 | -86.0 | -73.0 | -92.7 | -87.1 | -75.7 | -84.0 |

率为-30.2%~40.4%，平均-0.8%。磷肥养分允许平衡盈亏率为-35.5%，而实际平衡盈亏率为63.6%~464.6%，平均242.3%。钾肥养分允许平衡盈亏率为-89.1%，而实际平衡盈亏率为-92.7%~28.1%，平均56.7%。

3.3 土壤养分收支平衡状况的评价

根据我国国情，土壤养分收支平衡状况的评价应以土壤养分贡献率和养分允许平衡亏损率B%为评价依据。按氮肥有较大的增产率(10%~50%)时、养分平衡可以有一定盈余，但最大盈余不得造成环境问题；在磷肥在增产率为10%~25%时，磷平衡应有适量盈余(在+20%以下)；钾的允许盈亏率在100%时(即施该养分普遍没有增产效果)，任何平衡的盈余都不必要为评价原则^[7]。能够代表平凉市黑垆土土壤-作物系统投入养分允许平衡盈亏率的氮磷区、氮磷钾区和常规区。通过与实际平衡盈亏率进行比较发现氮磷区、氮磷钾区、常规区中氮平衡盈余率分别为2.3%、-5.5%、0.8%，虽然分别较允许平衡盈亏率高出38.5、30.7、37.0百分点，但基本处于平衡状态。磷平衡盈余率分别为291.6%、249.1%、186.3%，比允许平衡盈余率分别高出327.1、284.6、221.8百分点，表明监测区磷肥用量偏高，未得到合理高效利用。钾平衡盈余率分别为-29.3%、-84.0%，比允许平衡盈余率分别高出59.8、5.1百分点，平衡盈余率虽然在允许平衡盈余率范围之内，但若土壤钾素长期处于亏缺状态，则将会严重影响农业生产。为了维持和提高土壤钾素肥力，使作物高产和稳产，目前必须重视土壤钾素平衡，通过增加无机、有机钾源来加以合理调节。不同时期中氮磷素以“九五”、“十一五”期间盈余较高，而该期间以种植冬小麦为主；“八五”、“十

五”、“十二五”、“十三五”期间盈余较低，而该期间以种植玉米为主。

4 结论

在目前施肥状况和小麦-玉米种植制度下，平凉黑垆土旱塬区土壤养分收支平衡情况无论是不同时期还是不同施肥制度差异较大，总趋势是氮素基本平衡，磷素有盈余，而钾素亏缺较多，但以氮磷钾配合有机肥施用对土壤养分收支平衡效果较好。建议合理高效利用磷肥，加大钾肥投入，以“稳氮减磷增钾”为施肥原则，对不同化肥施用量做适当调整。

参考文献：

- [1] 鲁如坤. 持续农业与红壤的开发利用[M]. 南昌：江西科技出版社，1994.
- [2] 杨虎德，马彦，冯丹妮. 甘肃省农田氮磷流失特征及影响因素研究[J]. 甘肃农业科技，2020(2)：21-27.
- [3] 鲁如坤，刘鸿翔，闻大中，等. 我国典型地区农业生态系统养分循环和平衡研究 IV. 农田养分平衡的评价方法和原则[J]. 土壤通报，1996，27(5)：197-199.
- [4] 黄敏，苏以荣，黄道友，等. 土壤养分循环实地采用调查方法[J]. 应用生态学报，2006，12(2)：205-209.
- [5] 关焱. 农田生态系统不同施肥制度下的作物产量增益与土壤养分平衡[D]. 沈阳：沈阳农业大学，2005.
- [6] 刘秋丽，马娟娟，孙西欢，等. 土壤的硝化-反硝化作用因素研究进展[J]. 农业工程，2011(4)：79-86.
- [7] 唐启东，张士富，刘东扩. 土壤中磷素积累问题的探讨[J]. 现代化农业，2007(7)：13.
- [8] 彭浩，邵明安，张兴昌. 黄土区土壤钾素径流流失机理研究进展[J]. 土壤与环境，2002(2)：172-177.

(本文责编：陈珩)