

黄土旱塬长期施肥对小麦产量及养分平衡的影响

摄晓燕¹, 谢永生^{2*}, 郝明德², 赵云英¹, 张义¹, 鞠艳¹

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 基于长期定位试验, 研究不同肥料施用对小麦产量及养分平衡的影响。结果表明, 合理施肥可以明显提高小麦的产量, 增加小麦对养分的吸收量, 同时达到培肥地力的效果。氮、磷配施增产效果显著, 增幅为 111.7%; 在单施氮肥、单施磷肥的基础上施有机肥, 分别比单施氮肥和单施磷增产 32.7%、155.7%。氮、磷及有机肥配施时氮、磷、钾总吸收量均最多, 分别增加 303.5%、128.6%、238.8%。肥料单施, 土壤中的部分养分会出现亏缺, 单施氮肥, 土壤中磷素亏损 100%; 单施磷肥, 氮素亏损 100%。肥料配施, 氮素、磷素都出现不同程度的盈余。农业生产中该区要重视施用有机肥及肥料的合理配施。

关键词: 小麦; 产量; 长期施肥; 养分平衡; 黄土旱塬

中图分类号: S147.2; S512.1⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1000-7601(2009)06-0027-06

近年来, 在人口持续增长、耕地减少的情况下, 我国粮食产量的增长速率却有所下降, 粮食问题已引起人们的高度重视。开发利用旱作地区肥力较低的土地可促进我国农业的可持续发展^[1], 然而, 在旱作地区特别是在我国黄土高原地区农业生产中, 土壤贫瘠, 水资源严重缺乏, 水分和养分是限制农业发展的主要因素。实践证明通过增加肥料投入来培肥土壤, 是提高该区粮食单产、实现农业可持续发展的关键措施^[2,3]。研究农田生态系统中施肥对作物养分吸收的影响, 进而可以加强对养分循环的调控, 在农业可持续发展中也具有极其重要的作用^[4~6]。同时, 通过养分的投入与携出量可以确定土壤中养分的盈亏状况, 从而为平衡施肥提供依据。目前, 人们对小麦氮、磷、钾的营养机理和需肥特性已进行了大量研究^[7,8], 对长期施肥与养分吸收、土壤中养分平衡的关系也有报道^[9], 但对黄土旱塬区的研究还较少。所以, 如何在保护旱作地区生态环境的同时, 通过合理施肥来增加粮食产量, 提高土壤肥力已成为我国农业可持续发展的重点研究内容。

本试验是在长期定位试验的基础上, 研究不同肥料施用对小麦产量及通过养分的投入与携出得出土壤养分的平衡状况, 以期为旱地小麦平衡施肥、获得高产、培肥土壤、实现农业的可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于黄土高原中南部的陕西省长武县十里铺村塬地上, 塬面平坦宽阔, 黄土堆积深厚, 土壤为黄盖粘黑垆土(干润均腐土)。试验区海拔 1 200 m, 昼夜温差较大, 多年平均降雨 578.5 mm, 平均气温 9.1℃, >10℃积温 3 029℃, 无霜期 171 d, 属暖温带半湿润大陆性季风气候。农业生产全部依赖天然降水, 为典型的旱作农业区。试验地地面平坦, 母质是深厚的中壤质马兰黄土, 剖面通透性好, 肥力中等。于 1984 年布设长期定位试验时耕层土壤有机质含量为 10.5 g/kg, 全氮含量 0.57 g/kg, 土壤碱解氮含量 37.0 mg/kg, 全磷含量 0.659 g/kg, 有效磷含量 3.0 mg/kg, 速效钾含量 129.3 mg/kg, pH8.3。试验地土壤养分含量、地貌特征在黄土高原沟壑区有一定代表性。

1.2 试验设计

本试验在长期定位试验中, 选取以氮、磷及有机肥为基本供试因子的小麦连作 8 个施肥处理: (1) 不施肥(CK); (2) 单施氮肥(N); (3) 单施磷肥(P); (4) 单施有机肥(M); (5) 氮、磷肥配施(NP); (6) 氮肥、有机肥配施(NM); (7) 磷肥、有机肥配施(PM); (8) 氮肥、磷肥、有机肥配施(NPM)。氮肥为尿素(纯 N 120 kg/hm²), 磷肥为过磷酸钙(P₂O₅ 26.4 kg/hm²), 有机

收稿日期: 2009-06-27

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD09B10); 中国科学院方向性项目(KSCX1-YW-N15-04)

作者简介: 摄晓燕(1983-), 女, 山西岢岚人, 硕士研究生, 主要从事土壤肥力演变方面的研究。E-mail: sxy0418@163.com。

* 通讯作者: 谢永生。E-mail: yshxie@ms.iswc.ac.cn。

肥为厩肥(M 75 t/hm²;全氮含量 1.59 g/kg;全磷含量 0.8 g/kg)。试验采用随机区组设计,小区面积 66.7 m²,设 3 次重复。肥料在冬小麦播种前撒施于地表,翻入土中。本试验年份土壤的营养含量见表 1。

供试小麦品种是长武 134,播种量为 180 kg/hm²,2006 年 9 月 23 日播种,2007 年 6 月 29 日收获。生育年(2006 年 7 月~2007 年 6 月)内降水 496.2 mm,与多年平均降雨 578.5 mm 相比,降水量减少 10%以上,属干旱年份^[10]。

表 1 土壤耕层养分含量(2006 年)
Table 1 The content of soil nutrient(2006)

处理 Treatment	有机质 Organic matter (g/kg)	全 N Total N (g/kg)	速效 N Available N (mg/kg)	全 P Total P (g/kg)	速效 P Available P (mg/kg)	速效 K Available K (mg/kg)
NPM	19.30	1.30	80.93	0.97	45.74	381.89
NP	14.32	0.94	59.28	0.80	14.52	147.68
NM	17.92	1.26	70.82	0.65	27.54	410.01
PM	18.49	1.29	69.35	0.95	54.56	356.72
M	17.10	1.19	68.64	0.75	31.66	462.12
N	11.68	0.89	52.79	0.60	5.17	144.58
P	11.49	0.86	45.96	0.78	28.82	148.41
CK	11.36	0.87	43.12	0.53	4.87	145.43

1.3 研究方法

1.3.1 样品采集及处理 2007 年在小麦拔节期(4 月 10 日)、孕穗期(4 月 30 日)、扬花期(5 月 15 日)、灌浆期(5 月 27 日)和成熟期(6 月 27 日)分别采集植株样品,80~90℃ 杀青,70~80℃ 烘干,粉碎,保存^[11]。拔节期和孕穗期植株采集地上部分和根,扬花期和灌浆期采集根、茎、叶、穗,成熟期采集根、茎、叶和籽粒。

小麦收获期采集植株样品考种,各小区籽粒风干后计算小区产量。

1.3.2 测定项目及方法 测定采集样品中的氮、磷、钾含量。分析各样品养分含量时先用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,氮含量用凯氏定氮法测定,磷含量用钒钼黄比色法测定,钾含量用火焰光度法测定。测定结果均以风干基表示。

1.3.3 数据处理

养分归还率=(养分投入量/养分携出量)×100%
数据分析运用 Microsoft Excel 和 SAS 统计软件。

2 结果分析

2.1 长期施肥对小麦产量的影响

不同施肥处理对小麦生长的影响差异显著(表 2)。除长期单施 P 肥外,其他不同施肥条件下小麦产量都有所增加,且存在显著性差异。P 肥单施产量为 991.3 kg/hm²,减产 24.7%,可能是因连续单施 P 肥而无 N 肥投入造成土壤中小麦生长所必须的大量营养元素比例严重失调,影响植物的生长发育,最

终影响产量。NP 配施效果最好,增产率达 111.7%,比单施 N 肥和单施 P 肥分别增加 60.3%和 181.1%。单施 M 增产率为 96.9%,效果仅次于 NP 配施。在单施 N 肥、单施 P 肥的基础上施 M,分别比单施 N 肥和单施 P 增产 32.7%、155.7%。所以,黄土高原旱区单施 M 或肥料配施,可以获得高产^[2,12,13]。这是由于 M 肥中含有植物生长所必需的营养元素,同时肥料配施可以为作物生长提供均衡的养分。

表 2 长期施肥小麦的产量
Table 2 Wheat yield under long-term fertilization

处理 Treatment	产量(kg/hm ²) Yield	增产率(%) Increasing ratio
NP	2786.8 a	111.7
M	2591.8 b	96.9
PM	2535.0 b	92.6
NPM	2315.5 c	75.9
NM	2307.5 c	75.3
N	1738.8 d	32.1
CK	1316.3 e	0
P	991.3 f	-24.7

注:不同字母表示在 5%水平下差异显著,下同。

Note: Different letters mean significance at 5% level. They are the same as follows.

2.2 长期施肥对小麦地上部分生物产量的影响

不同肥料施用对小麦生物量影响不同(图 1),拔节期 CK 的干物质累积速率最慢,为 6.0 kg/(d·hm²),因而生物量最少。单施 N、P 肥的干物

质累积速率较小,分别为 6.6 kg/(d·hm²)和 7.0 kg/(d·hm²)。NPM 配施能够较全面地为小麦生长发育提供所必需的营养元素,因而生物量最大,达 4 060.64 kg/hm²。施 M、MN、MP、NP 的生物量差异不大(2 730.48 kg/hm²~3 460.04 kg/hm²)。

小麦孕穗期各施肥条件下的生物量迅速增加,单施 P 肥效果最差,累积速率为 50.7 kg/(d·hm²),生物量较 CK 少 8.9%。NPM 配施累积速率最大,为 207.2 kg/(d·hm²)。施 N、M、PM、NM、NP 累积速率为 88.4 kg/(d·hm²)~186.1 kg/(d·hm²)。

扬花期的生物量持续增加,除单施 P 肥的累积速率[59.7 kg/(d·hm²)]较孕穗期略有增加外,其他处理累积速率较孕穗期均有不同程度的降低。与 CK 相比,NP 配施干物累积量最少,仅增加 3.5%;

NM 配肥干物质累积量最多,累积速率为 120.5 kg/(d·hm²);单施 N 肥效果次之,累积速率为 87.4 kg/(d·hm²);施 NPM、PM、M、P 干物质累积量差异不大,增幅为0.70%~1.01%。

小麦灌浆期,PM 配施干物质累积速率最大,为 214.7 kg/(d·hm²),干物质累积量较 CK 增加 127.4%。其他施肥条件下,干物质的累积量均低于 CK。

成熟期各处理的干物质累积速率都明显下降,NPM 配施的干物质累积量较灌浆期减少 16.5%,这可能是由于生育后期枯叶脱落较多导致,其他处理的生物量都达到最大值。NP 配施干物累积量最大,达1 178.6 kg/hm²。施 N、P、M、NM、PM 干物质的累积速率维持在 13.1 kg/(d·hm²)~26.1 kg/(d·hm²)。

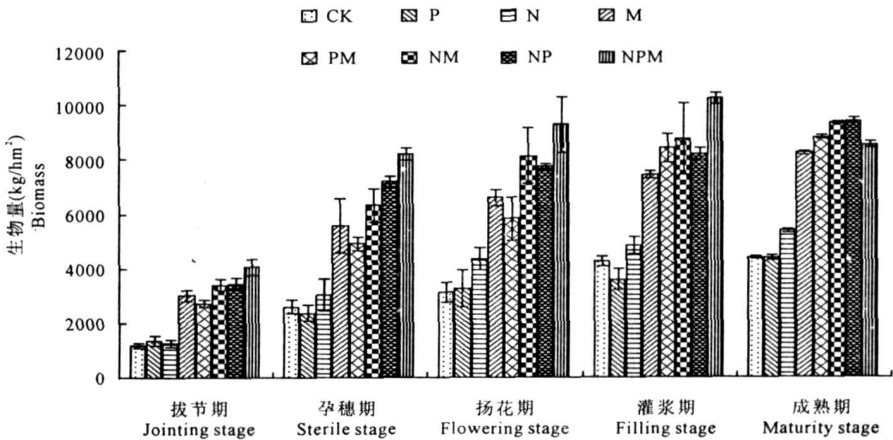


图 1 小麦不同生育期生物量变化

Fig.1 Change of biomass in different growing stages

小麦干物质的累积速率大致呈现先加快后减缓的趋势,孕穗期是干物质累积的关键时期,除单施 P 肥外,其他处理条件下累积速率均达到最大,随后生物量进入缓慢累积期。灌浆期,随着籽粒的形成,干物质的累积速率又略有增加。成熟期生物量累积缓慢甚至有所减少。施肥有助于小麦地上部生物量的增加,尤其是无机肥和有机肥配施增加效果更显著,可以促进小麦高产。

2.3 长期施肥对小麦养分吸收的影响

2.3.1 长期施肥对小麦氮吸收量的影响 作物的养分吸收量是估算农田养分移出量的重要参数^[14]。不同施肥条件下小麦对养分的吸收量不同(表 3)。与 CK 对比,单施 P 肥小麦的总氮吸收量下降 29.4%,其他施肥条件下小麦的总氮吸收量均增加,

无机肥与有机肥配施增加 152.3%~303.5%,NPM 配施效果最显著。

单施 P 肥小麦籽粒的氮吸收量较 CK 减少 6.91 kg/hm²,差异不显著。单施 N 肥籽粒的氮吸收量增加 268.5%,增幅最大。单施 M 籽粒的氮吸收量增加 106.1%;在施 M 的基础上,配施 N、P、NP 肥,分别增加 252.9%、156.3%、224.5%。

单施 P 肥时小麦秸秆的氮吸收量降低 17.3%,在 5%水平下无显著差异。其他施肥条件下小麦秸秆的氮吸收量均增加,效果显著。NPM 配施增加 797.7%,效果最明显。因此,单施 N 肥可以增加小麦籽粒的氮吸收量;单施 P 肥不利于小麦对氮素的吸收;有机和无机肥配施,有助于小麦氮吸收量的增加。

表 3 长期施肥对小麦养分吸收量的影响

Table 3 Effect of long-term fertilization on amount of nutrient absorption of wheat

处理 Treatment	氮吸收量(kg/hm ²) Amount of N absorbed			磷吸收量(kg/hm ²) Amount of P absorbed			钾吸收量(kg/hm ²) Amount of K absorbed		
	总量 Total	籽粒 Grain	秸秆 Straw	总量 Total	籽粒 Grain	秸秆 Straw	总量 Total	籽粒 Grain	秸秆 Straw
NPM	103.14 _a	71.54 _{ab}	31.6 _{aA}	12.07 _{ab}	9.60 _{ab}	2.47 _a	48.51 _a	8.68 _a	39.83 _a
NP	75.03 _{abc}	60.81 _{ab}	14.22 _c	7.97 _{bed}	7.11 _{bc}	0.86 _c	24.15 _{cd}	9.13 _a	15.02 _d
NM	98.88 _{ab}	77.77 _{ab}	21.11 _b	8.68 _{bed}	7.51 _{bc}	1.17 _b	41.52 _{ab}	9.45 _a	32.07 _b
PM	64.48 _{bc}	56.49 _{abc}	7.99 _e	14.81 _a	14.06 _a	0.75 _c	40.25 _{ab}	10.32 _a	29.93 _b
M	51.32 _{cd}	45.43 _{bcd}	5.89 _f	9.63 _{abc}	9.04 _{ab}	0.59 _d	31.08 _{bc}	8.63 _a	22.45 _c
N	92.07 _{ab}	81.21 _a	10.86 _d	8.41 _{bcd}	7.91 _{bc}	0.5 _{de}	25.88 _c	8.57 _a	17.31 _d
P	18.04 _d	15.13 _d	2.91 _h	3.75 _d	3.32 _c	0.43 _e	11.93 _e	3.27 _b	8.66 _e
CK	25.56 _d	22.04 _{cd}	3.52 _g	5.28 _{cd}	5.05 _{bc}	0.23 _f	14.32 _{de}	4.75 _b	9.57 _e

2.3.2 长期施肥对小麦磷吸收量的影响 单施 P 肥小麦的总磷吸收量稍有降低。NP 配施总吸收量增加 50.9%，较单施 N 肥减少 5.2%，但与 N 肥单施差异不显著。施用 M 可以增加总磷吸量，增幅为 64.4%~128.6%，NPM 配施增加最多。

与 CK 相比，籽粒磷吸收量除单施 P 肥降低 34.2%外，其他处理均增加。PM 配施增加 178.4%，效果最显著；NPM 配施增加 90.1%，效果次之。

不同施肥处理下小麦秸秆的磷吸收量均增加，且效果明显。施用 M 增加 156.5%；在其基础上配施无机肥，增加效果更显著，增幅为 226.1%~973.9%，NPM 配施效果最好。所以施肥有利于秸秆对磷的吸收；长期单施 P 肥阻碍磷素向籽粒中转移；有机无机肥配施可显著提高小麦地上部的磷吸收量，减少养分损失。

2.3.3 长期施肥对小麦钾吸收量的影响 小麦总钾吸收量在单施 P 时较 CK 降低 16.7%，差异不显著。施 N、NP 分别增加 11.56 kg/hm² 和 9.83 kg/hm²，无显著差异，所以对小麦总钾吸收量影响不明显。加入 M 后，小麦总吸钾量增加 117.0%~238.8%，效果明显。

单施 P 肥小麦籽粒钾吸收量较 CK 减少 31.2%。NP 配施增加 92.2%，比单施 N 肥增加 6.5%。单施 M 增加 81.7%；在单施 M 的基础上配施无机肥，增加 82.7%~117.3%。

秸秆中钾吸收量较高，是籽粒中的 1~6 倍。小麦秸秆钾吸收量在单施 P 肥处理下较 CK 减少 9.5%，差异不显著。其他施肥处理下均增加，且效果明显。在施 N、P、NP 肥的基础上配施 M，吸收量分别较单施 N、单施 P、NP 配施增加 85.37%、245.6%、165.2%。因此，长期单施 P 肥阻碍小麦对

钾素的吸收；长期施用 M，能满足作物对钾的需求。

2.3.4 长期施肥对小麦养分收获指数的影响 养分经济利用指数(收获指数)指籽粒中的养分含量与地上部养分吸收量的比值^[15]，反映植株所吸收的养分向籽粒中转移的状况。不同施肥对小麦养分收获指数影响不同(表 4)，NPM 配施氮、磷、钾收获指数均最小，分别较 CK 降低 19.6%、16.8%、41.6%。单施 M 肥氮收获指数最高，较 CK 提高了 2.7%。不同施肥处理下磷收获指数均有不同程度的降低。NP 配施有利于钾收获指数的提高，较 CK 增加 14.0%；单施 N 肥钾收获指数与 CK 基本接近，其他处理均有所降低。在同一施肥条件下，磷收获指数>氮收获指数>钾收获指数。

表 4 施肥对小麦养分收获指数的影响

Table 4 Effect of applying fertilizer on N, P and K harvest index

处理 Treatment	氮收获指数(%) N harvest index	磷收获指数(%) P harvest index	钾收获指数(%) K harvest index
NPM	69.4	79.5	17.9
NP	81.0	89.2	37.8
NM	78.7	86.5	22.8
PM	87.6	94.9	25.6
M	88.5	93.9	27.8
N	88.2	94.1	33.1
P	83.9	88.5	27.4
CK	86.2	95.6	33.2

2.4 不同施肥对土壤养分平衡的影响

农田养分平衡主要包括养分投入、养分携出和养分盈亏三方面，计算农田中养分平衡时一般以肥料投入和作物收获物中的养分为主，对其进行宏观统计和比较，来估算土壤中养分平衡的状况^[16,17]。不同施肥处理对土壤养分平衡的影响不同(表 5)。

单施 N 肥时,土壤中磷素亏损 100%。单施 P 肥时,氮素亏损 100%。肥料配施时,氮素、磷素都出现不同程度的盈余。其中单施 M,氮素盈余 67.93 kg/hm²,磷素盈余 50.37 kg/hm²。NPM 配施土壤中氮素盈余 131.97%,磷素盈余 894.20%。施用 M 及肥料配施可以培肥土壤。

表 5 不同施肥对土壤养分平衡的影响

Table 5 Effect of applying fertilizer on soil nutrient balance

处理 Treatment	盈亏量(kg/hm ²) Balance		归还率(%) Return rate	
	N	P	N	P
NPM	136.11	107.93	231.97	994.20
NP	44.97	52.03	159.94	752.82
NM	140.37	51.32	241.96	691.24
PM	54.77	105.19	184.94	810.26
M	67.93	50.37	232.37	623.05
N	27.93	-8.41	130.34	0.00
P	-18.04	56.25	0.00	1600.00
CK	-25.56	-5.28	0.00	0.00

3 结论与讨论

1) 黄土旱塬区长期单施 P 肥增产效果不明显,施用 M 或将肥料合理配施有效地提高小麦产量,NP 配施增产效果显著,增幅为 111.7%。在单施 N 肥、单施 P 肥的基础上施 M,分别比单施 N 肥和单施 P 增产 32.7%、155.7%。在农业生产中该区要重视 M 肥的合理施用。

2) 干物质质量累积随小麦生育期的进程呈增加趋势,拔节期至孕穗期是小麦器官的构建期,干物质累积速率最大,随后有所降低。施肥有助于小麦地上部生物量的累积,无机肥与有机肥配施效果明显。

3) 土壤中长期单施 P 肥导致作物生长所必需的大量营养元素比例严重失调,不利于小麦对氮素、钾素的吸收,同时阻碍磷素向籽粒中转移。无机和有机肥配施可以促进小麦对养分的吸收,减少养分损失。黄土旱塬区在农业生产过程中要注重无机肥料和有机肥料的合理配施。

4) 单施 M,氮素盈余 67.93 kg/hm²,磷素盈余 50.37 kg/hm²。NPM 配施土壤中氮素盈余 131.97%,

磷素盈余 894.20%。肥料单施,土壤中部分营养元素出现不同程度的亏缺。合理施用 M 或配施肥料可明显增加土壤中养分含量,从而培肥地力。

参 考 文 献:

[1] 李秧秧. 无机营养提高作物抗旱性的生理基础[C]//山 仑, 陈培元. 旱地农业生理生态基础. 北京: 科学出版社, 1998: 222—232.

[2] 魏孝荣, 郝明德, 张春霞, 等. 黄土区长期定位培肥试验对土壤肥力的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 37—39.

[3] 郝明德, 姚振镐, 韩贵杰, 等. 渭北旱塬地区粮食作物优化施肥模式的研究[C]//李玉山, 苏陕民. 长武王东沟高效生态经济系统综合研究. 西安: 科学技术文献出版社, 1991: 9.

[4] 赵晓齐, 鲁如坤. 有机肥对土壤磷素吸附的影响[J]. 土壤学报, 1991, 28(1): 7—13.

[5] Mercik S, Nemeth K. Effect of 60-years N, P, K and Ca fertilizer on EUF-nutrient fraction in the soil and yields of rye and potato crops[J]. Plant Soil, 1985, (1): 151—159.

[6] 章永松, 林咸永, 罗安成, 等. 有机肥对土壤中磷的活化作用及机理研究 I. 有机肥(物)对土壤不同形态无机磷活化作用[J]. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(2): 145—150.

[7] 韩燕来, 介晓磊, 谭金芳, 等. 超高产冬小麦氮磷钾吸收、分配与运转规律的研究[J]. 作物学报, 1998, 24(6): 908—915.

[8] 胡田田, 刘翠英, 李 岗, 等. 施肥对土壤供肥和冬小麦养分吸收及其产量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(3): 36—41.

[9] 蔡祖聪, 钦绳武. 作物 N、P、K 含量对于平衡施肥的诊断意义[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 1—7.

[10] 郝明德, 来 璐, 王改玲, 等. 黄土高原塬区长期施肥对小麦产量的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1893—1896.

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析(第三版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 243—244.

[12] 党廷辉, 高长青, 彭 琳, 等. 长武旱塬轮作与肥料长期定位试验[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 61—64.

[13] 刘 一. 施肥对黄土高原旱地冬小麦产量及土壤肥力的影响[J]. 水土保持研究, 2003, 10(1): 40—42.

[14] 陈 磊, 郝明德, 张少民, 等. 黄土高原旱地长期施肥对小麦养分吸收和土壤肥力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 230—235.

[15] 罗远培, 李韵珠. 根土系统与作物水氮资源利用效率[M]. 北京: 农业出版社, 1996.

[16] 鲁如坤. 土壤—植物营养学原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.

[17] 周建民. 农田养分平衡与管理[M]. 南京: 河海大学出版社, 2000.

Effect of long-term fertilization on wheat yield and nutrient balance in dryland of the Loess Plateau

SHE Xiao-yan¹, XIE Yong-sheng², HAO Ming-de², ZHAO Yun-ying¹, ZHANG Yi¹, JU Yan¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Based on a long-term experiment, the effects of long-term fertilization on wheat yield and nutrient balance were investigated. The results show that rational use of fertilizer can increase wheat yield significantly, and increase the amount of nutrient absorption and improve nutrient content of soil. The combination of N and P application can increase wheat yield by 111.7%. Compared with the single application of N fertilizer and single application of P fertilizer, adding manure can increase the yield by 32.7% and 155.7%. The combination of N, P and manure application can increase the amount of N, P and K absorption by 303.5%, 128.6% and 238.8% separately. In single application of fertilizer, a part of soil nutrients will be deficit. In single application of N fertilizer, soil P loss is high as 100%, while in single application of P fertilizer, N loss is as high as 100%. In combination of fertilizer, there are different levels surplus of N and P. In the experimental region, the agricultural production should focus on the application of manure fertilizer and the combination of fertilizer reasonably.

Keywords: wheat; yield; long-term application of fertilizer; nutrient absorption; dryland of the Loess Plateau

(上接第 26 页)

Spatial variability of soil organic matter and calcium carbonate and its reason in Guanzhong farmland

WANG Jin-gui, WANG Yi-quan^{*}, XU Hai, FENG Xiao-long, WANG Yong-jian, FU Yao-long, ZHANG Yu-lin

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Shaanxi Land Treatment Center, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: In order to study the effect and influence of human activities on spatial variability of soil organic matter and calcium carbonate in farmland, an experiment was made in the farmland of Duzhai Village, Yangling, Shaanxi, and meanwhile, the variation mechanism was analyzed. The results showed that the average soil organic matter contents in top soil and substratum soil were 20.64 g/kg and 10.81 g/kg, while the coefficients of variation were 0.087 and 0.013 respectively, belonging to a low level; the average soil organic matter content in subsurface was 16.96 g/kg belonging to a moderate level; a low level of variation coefficient of calcium carbonate appeared in all the soil layers. Through analyzing the contour map of soil spatial variability, the same changing law was found in soil organic matter and calcium carbonate content in the horizon direction, which showed that higher soil organic matter and calcium carbonate content appeared in the points closer to the village, forming a concentric circle.

Keywords: organic matter; calcium carbonate; spatial variability; human activities