

有机肥对宁夏南部旱农区土壤物理性状 及水分的影响

高 飞¹, 贾志宽^{1,2}, 韩清芳¹, 杨宝平¹

(1 西北农林科技大学 干旱半干旱研究中心, 陕西 杨凌 712100; 2 农业部旱地作物生产与生态重点开放实验室, 陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】研究有机肥对干旱农作区土壤体积质量、孔隙度、粒径 $>0.25\text{ mm}$ 土壤团聚体含量、土壤贮水量及作物水分利用效率的影响。【方法】以冬小麦“西峰 26”为供试作物, 在宁夏南部旱农区通过 3 年(2007—2009 年)田间定位试验, 以不施有机肥为对照, 探讨不同有机肥施用量(H: 90 t/hm^2 , M: 60 t/hm^2 , L: 30 t/hm^2) 对土壤物理性状和作物水分利用的影响。【结果】与对照相比, 施用有机肥有利于改善土壤孔隙状况, 促进水稳性团聚体的形成, 提高土壤的蓄水和持水能力。与 2007 年土壤(0~60 cm 土层)相比, 2009 年 H、M、L 处理土壤体积质量平均降幅分别为 5.3%, 4.6% 和 3.4%。无论采用干筛法还是湿筛法, 与试验开始前土壤相比, 粒径 $>0.25\text{ mm}$ 土壤团聚体含量均显著提高, 其中湿筛法 0~40 cm 土层 H、M、L 施肥处理粒径 $>0.25\text{ mm}$ 土壤水稳性团聚体含量的平均增幅依次为 21%, 28% 和 29%。在小麦返青期, H、M、L 处理 0~60 cm 土层土壤贮水量显著高于对照($P<0.05$), 分别较对照增加了 24.75, 15.77 和 13.68 mm; 在小麦灌浆期, 有机肥处理 0~200 cm 土层土壤贮水量显著高于对照, 其中 H 处理增幅达 17%。H、M、L 处理冬小麦水分利用效率较 CK 分别提高了 38%, 38%, 23%, 其中 H、M 处理与对照差异达显著水平($P<0.05$)。【结论】施用有机肥能提高供试土壤的保水能力, 促进土壤结构的优化, 进而使作物的产量得到提高。高施用量有机肥处理作物的产量最高, 土壤物理结构最优。

【关键词】 宁南旱农区; 有机肥; 土壤物理性状; 土壤水分

【中图分类号】 S157.4; S141.4

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2010)07-0105-06

Effects of different organic fertilizer treatments on soil water and soil physical properties in the semi-arid area of southern ningxia

GAO Fei¹, JIA Zhi-kuan^{1,2}, HAN Qing-fang¹, YANG Bao-ping¹

(1 Research Center of Agriculture in the Arid and Semi-arid Areas, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 The Key Laboratory of Crop Production and Ecology, Ministry of Agriculture, the People's Republic of
China, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 The study was to explore the effects of different organic fertilizer treatments on bulk density, capillary porosity, soil aggregates, soil water storage and WUE. 【Method】 We conducted the experiment to study the effects of soil water and soil physical properties under different organic fertilizer treatments (H: 90 t/hm^2 , M: 60 t/hm^2 , L: 30 t/hm^2) for 3 years (2007—2009) in southern semi-arid area of Ningxia. The winter wheat for this trial was “Xifeng 26”. 【Result】 Organic fertilizer treatments could improve soil porosity, the ability of soil water storage and the content of water-stable aggregates than no fertilizer treatments. Compared with the soil before the experiment, the soil bulk density in 0—60 cm soil layer decreased by 5.3%, 4.6% and 3.4% respectively on average through H, M and L treatments. Whether dry

* [收稿日期] 2009-12-28

[基金项目] 国家“十一五”科技支撑计划旱农项目(2006BAD29B03)

[作者简介] 高 飞(1982—), 男, 山西侯马人, 在读硕士, 主要从事旱地农业研究。E-mail: fei3527479@163.com

[通信作者] 贾志宽(1962—), 男, 山西交城人, 教授, 博士生导师, 主要从事旱区农业水分高效利用研究。

E-mail: zhikuan@tom.com

sieving or wet sieving, >0.25 mm aggregates increased significantly compared with the soil before experiment. And after wet sieving, the average increase of the content of >0.25 mm water-stable aggregates after H, M and L treatments on 0—40 cm soil layer was 21%, 28% and 29% respectively. Soil water storage capacity showed significant difference between these organic fertilizer treatments and no fertilizer treatment in the regreening stage of winter wheat on 0—60 cm soil layer. Following fertilization amount from high to low, the increase of soil water storage was 24.75, 15.77, and 13.68 mm respectively. There was significant difference between organic fertilizer treatments and no fertilizer treatment in the milking stage of winter wheat on 0—200 cm soil layer. And the increase of high fertilizer treatment was 17%. Following the fertilization from high to low, *WUE* of winter wheat under different fertilizer treatments increased by 38%, 38%, 23% respectively compared with no fertilizer treatment. Moreover, *WUE* of winter wheat in high and low fertilizer treatment was significantly higher than that in no fertilizer treatment. 【Conclusion】 The organic fertilizer treatments can not only enhance the proportion of bigger aggregates, but also can improve the structure of soil. The suitable organic fertilizer treatment may be high fertilizer treatment, but this needs to be reconfirmed.

Key words: arid area of southern Ningxia; organic fertilizer; soil physical property; soil water

宁夏南部旱作农业区的气候为温带半干旱气候, 自然降水少且年内分布不均, 土壤水分蒸发强烈, 粮食产量低, 作物生产完全依赖于天然降水。有研究表明, 水分供应不足是影响该区旱地作物产量的主要因素, 故改善水分供应状况是旱区农业可持续发展的关键^[1]。增施有机肥可充分改善土壤的保水蓄水性能和物理结构, 并在一定程度上协调作物需水与土壤供水之间的矛盾^[2]。合理调配水分和养分能够起到以肥调水、以水促肥的增产作用^[3]。对于干旱少雨、土壤瘠薄的宁南旱作区, 有机培肥是提高作物产量的关键技术问题, 目前相关研究多侧重于地表覆盖、耕作方式、灌溉制度等对土壤水分的影响, 关于长期施肥管理对土壤水分的影响虽然有报道^[4-6], 但有关半干旱区连年施用有机肥对土壤物理状况及水分影响的研究不多。为此, 本研究于 2007—2009 年在宁南旱区进行定位试验, 通过设置不同有机肥施用量, 研究长期施用有机肥对土壤水分变化和物理性状的影响, 旨在为该区作物丰产、稳产及土壤扩蓄增容提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2007—2009 年在宁夏回族自治区彭阳县旱地农业试验区进行。该区海拔 1 800 m, 全年 56% 的降水量集中在 7—9 月份, 无效、微效降水天数多, 气候干燥, 蒸发强烈, 土壤蓄墒率不足 30%, 属温带半干旱气候, 年平均气温 6~8.5℃, 无霜期 147~168 d, 年降雨量 350~450 mm。试区土壤为

黄土母质上发育的黑垆土和黄绵土, 质地轻壤。试验地耕层土壤含有机质 10.42 g/kg、全氮 0.86 g/kg、速效钾 97 mg/kg、速效磷 5.39 mg/kg、碱解氮 54.43 mg/kg。

1.2 试验设计

定位试验设置高肥(H, 有机肥 90 t/hm²)、中肥(M, 有机肥 60 t/hm²)、低肥(L, 有机肥 30 t/hm²)及对照(CK, 不施有机肥)共 4 个处理。每处理设 3 次重复, 随机区组排列, 小区面积为 18 m²。供试有机肥为牛粪, 其有机质、全氮、全磷、全钾含量分别为 35.36, 3.53, 0.15, 1.88 g/kg。各处理在作物播种前, 施用 60 kg/hm² 磷酸二铵(N 含量 $\geq 17\%$, P₂O₅ 含量 $\geq 45\%$)和所设计的有机肥量作基肥。试验地前茬作物为冬小麦, 9 月中旬播种, 翌年 6 月下旬收获, 收获后冬闲, 小麦品种为“西峰 26”。2009 年冬小麦生育期总有效降雨量为 326.9 mm。

1.3 测定项目及方法

于试验第 3 年, 在冬小麦播种前到收获时采集小麦各生育期 0~2 m 土层土样, 每 20 cm 取一样本, 采用烘干法测定土壤含水量。在 2007 年试验开始及 2009-06-21 冬小麦收获后采集土样, 测定土壤体积质量与团聚体含量。测定土壤体积质量时, 采用环刀法挖一土壤剖面, 每 20 cm 为一层, 取原状土样, 每处理重复 3 次, 测定土层深度为 0~60 cm; 土壤团聚体含量分别采用湿筛法(测水稳性土壤团聚体)和干筛法(测机械稳定性团聚体)测定^[7], 先挖一 60 cm 深的直角剖面, 按每 10 cm 为一层取得原状土样, 每处理重复 3 次, 测定土层深度为 0~40 cm。

1.4 评价指标的计算方法

土壤总孔隙度的计算公式为:

土壤总孔隙度 = $\frac{(D_s - R_s)}{D_s} \times 100\%$ 。

式中: D_s 为土粒密度(一般认为耕地土壤表土的土粒密度为 2.65 g/cm^3), R_s 为土壤体积质量。

土壤贮水量采用下式计算:

$W = h \times a \times b \times 10 / 100$ 。

式中: W 为土壤贮水量(mm), h 为土层深度(cm), a 为土壤体积质量(g/cm^3), b 为土壤含水量(质量分数(%))。计算时,0~60 cm 土层土壤体积质量按每层测定值计;60 cm 以下土层因体积质量变化微小,故按 40~60 cm 土层土壤的体积质量计。

土壤耗水量按下式计算:

$ET_a = W_1 - W_2 + P$ 。

式中: ET_a 为土壤耗水量(mm), W_1 为播种前土壤贮水量(mm), W_2 为收获后的贮水量(mm), P 为生育期有效降水量(mm)。式中土壤贮水量以 2 m 土层含水量计。

水分利用效率的计算公式为:

$WUE = Y / ET_a$ 。

式中: WUE 为水分利用效率($\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$), Y 为作物籽粒产量(kg/hm^2)。

1.5 统计方法

用 DPS 3.1 软件进行方差分析及 Duncan's 新复极差检验。

2 结果与分析

2.1 有机肥对粒径>0.25 mm 土壤团聚体含量的影响

2.1.1 湿筛法 由表 1 可知,经过 3 年施用有机肥处理后,在 0~10 cm 土层,L 处理粒径>0.25 mm 水稳性土壤团聚体含量最高,达 11.32%,与 CK、H 及 M 处理间差异显著($P<0.05$);在 10~30 cm 土层,各处理间无显著性差异;在 30~40 cm 土层,CK 处理的粒径>0.25 mm 水稳性土壤团聚体含量最小,且与 M 处理差异显著($P<0.05$),但各施用有机肥处理间差异不显著。整体而言,经过湿筛后,不同施肥量有机肥处理的水稳性土壤团聚体含量较 CK 均有不同程度增加。与试验前土壤相比,3 年连续施肥后,各处理粒径>0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量均明显提高,0~10,10~20,20~30,30~40 cm 土层粒径>0.25 mm 土壤水稳性团聚体含量的最大增幅依次为 35%,17%,10%和 75%。与其他土层相比,30~40 cm 土层粒径>0.25 mm 水稳性土壤团聚体含量增大明显。

表 1 施用有机肥对粒径>0.25 mm 土壤团聚体含量的影响

Table 1 Effects of organic fertilizer treatments on the contents of >0.25 mm soil mechanical aggregates %

方法 Method	土层/cm Soil layer	2007	2009			
			H	M	L	CK
湿筛法 Wet sieving	0~10	8.39	9.39 b	9.63 b	11.32 a	8.28 b
	10~20	9.08	9.54 a	9.74 a	10.66 a	9.41 a
	20~30	9.02	9.58 a	9.23 a	9.88 a	9.18 a
	30~40	11.49	17.55 ab	20.14 a	17.21 ab	14.42 b
干筛法 Dry sieving	0~10	51.27	71.45 a	65.99 ab	66.33 ab	56.40 b
	10~20	56.28	73.36 a	76.14 a	74.87 a	61.75 b
	20~30	66.76	77.36 a	80.10 a	79.27 a	73.61 a
	30~40	75.55	80.44 a	78.62 a	80.59 a	75.62 a

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异达 5%显著水平。下表同。

Note: Different letters in the same line mean significant difference at 5% level of probability. The same as below.

2.1.2 干筛法 一般将粒径>0.25 mm 的团聚体称为土壤团粒结构体,团粒结构是土壤中最优的结构体,其数量与土壤的肥力状况正相关^[8],因此本研究通过粒径>0.25 mm 团聚体含量这一指标的变化,来反映不同处理土壤的稳定性。由表 1 可知,经过 3 年有机肥处理后,在 0~10 cm 土层,H 处理粒径>0.25 mm 土壤团聚体含量显著高于对照($P<0.05$),其他 2 个处理与 CK 差异不显著,但均较 CK 有所提高;10~20 cm 土层,H、M、L 处理团聚体的含量均显著高于对照($P<0.05$),但各施肥处理间

差异不显著。与 2007 年试验前土壤相比,经过 3 年施用有机肥处理后,0~20 cm 土层粒径>0.25 mm 土壤团聚体含量增幅达 35%~39%;20~30 和 30~40 cm 土层,不同处理粒径>0.25 mm 土壤团聚体含量间无显著差异,与试验前土壤相比增幅较小。

由此可见,施用有机肥可增加 0~40 cm 土层粒径>0.25 mm 团聚体含量,其影响程度随土层深度的增加而减小。

2.2 有机肥对土壤体积质量和孔隙度的影响

由表 2 可知,在 0~40 cm 土层,有机肥处理土

壤体积质量与 CK 处理存在显著差异($P<0.05$), 相比降幅最大,平均约为 9%;在 40~60 cm 土层, 而有机肥处理之间无显著差异,其中 H 处理与 CK 有机肥处理土壤体积质量与 CK 无显著差异。

表 2 施用有机肥对土壤体积质量和孔隙度的影响
Table 2 Effects of organic fertilizer treatments on the soil bulk density and capillary porosity

测定指标 Measured item	土层/cm Soil layer	2007	2009			
			H	M	L	CK
体积质量/(g·cm ⁻³) Bulk density	0~20	1.33	1.29 a	1.31 a	1.32 a	1.41 b
	20~40	1.38	1.32 a	1.32 a	1.36 a	1.44 b
	40~60	1.44	1.32 a	1.33 a	1.33 a	1.39 a
孔隙度/% Capillary porosity	0~20	50.12	51.36 a	50.62 a	50.28 a	47.46 b
	20~40	48.47	50.33 a	48.87 a	48.81 a	46.48 b
	40~60	47.81	50.57 a	48.53 a	50.05 a	48.68 a

由表 2 还可知,相同处理下,0~40 cm 土层的土壤体积质量随土层深度的增加而增大,而土壤孔隙度则与之相反;与试验开始前相比,经过 3 年施用有机肥处理后,各处理土壤体积质量均有不同程度降低,H,M,L 处理 0~60 cm 土层平均降幅分别为 5.3%,4.6%,3.4%。总之,长期施用有机肥不仅降低了土壤体积质量,而且还增大了土壤孔隙度,使土壤变得疏松,耕层土壤环境得到了改善。

2.3 有机肥对 0~200 cm 土层土壤贮水量的影响

表 3 为 2009 年冬小麦播种前和冬小麦全生育期不同处理不同土层的土壤贮水量,全生育期降雨量为 326.9 mm。由表 3 可知,播种前各有机肥处理 0~200 cm 土层土壤贮水量均较 CK 有所提高,但无显著性差异;在返青期、灌浆期和收获期,0~

200 cm 土层各有机肥处理土壤贮水量较 CK 有不同程度提高,其中 H、M、L 处理较 CK 土壤贮水量在小麦返青期分别增加了 60.07,15.01 和 6.67 mm,在灌浆期分别增加了 41.29,11.75 和 11.45 mm,在收获期分别增加了 14.40,2.96,0.03 mm;在小麦其他生育时期,各有机肥处理土壤贮水量小于 CK,但差异不显著,这可能是由于小麦在生长旺盛期需水量较大所致。在小麦返青期,H、M、L 处理 0~60 cm 土层土壤贮水量显著高于 CK($P<0.05$),较 CK 分别增加了 24.75,15.77,13.68 mm;在小麦其他生育期,各处理 0~60 cm 土层土壤贮水量差异不显著。在小麦灌浆期,各有机肥处理 0~200 cm 土层土壤贮水量显著高于 CK,其中 H 处理增幅最高,达 17%。

表 3 施用有机肥对冬小麦全生育时期 0~200 cm 土层土壤贮水量的影响
Table 3 Effects of organic fertilizer treatments on the water of 0~200 cm soil in the whole growing period of winter wheat mm

土层/cm Layer	处理 Treatments	2009 年小麦 播种前 Before sowing	返青期 Regreening stage	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Heading stage	灌浆期 Milking stage	收获期 Maturity stage
0~200	H	355.93 a	376.77 a	300.06 a	264.96 a	278.58 a	241.55 a
	M	333.43 a	331.71 ab	294.59 a	253.51 a	249.04 a	230.11 a
	L	336.92 a	323.37 b	301.59 a	264.53 a	248.74 a	227.18 a
	CK	329.85 a	316.70 b	324.77 a	297.57 a	237.29 b	227.15 a
0~60	H	141.30 a	106.96 a	77.99 a	60.68 a	62.45 a	47.54 a
	M	140.98 a	97.98 a	75.26 a	61.73 a	56.25 a	50.78 a
	L	140.68 a	95.89 a	75.72 a	59.65 a	60.35 a	44.44 a
	CK	132.20 a	82.21 b	80.19 a	64.10 a	53.88 a	42.16 a

2.4 有机肥对小麦产量和水分利用效率的影响

表 4 表明,H 处理冬小麦产量最高,达 3 116.7 kg/hm²,M 和 L 处理次之,CK 最低,其中 H、M 处理冬小麦产量显著高于 CK;在冬小麦全生育期,各

处理的耗水量差异不显著;H、M、L 处理的冬小麦水分利用效率较 CK 分别提高了 38%,38% 和 23%,其中 H、M 处理与 CK 差异显著($P<0.05$)。

表 4 施用有机肥对冬小麦产量和水分利用效率的影响
Table 4 Effects of yield and WUE of winter wheat under organic fertilizer treatments

处理 Treatment	产量/(kg·hm ⁻²) Yield	生育期耗水量/mm Water consumption	水分利用效率/(kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹) WUE
H	3 116.7 a	307.8 a	10.1 a
M	3 100.0 a	306.8 a	10.1 a
L	2 806.7 ab	311.9 a	9.0 ab
CK	2 326.7 b	317.7 a	7.3 b

3 结论与讨论

本试验结果表明,与 CK 相比,施用有机肥处理的土壤中,粒径 $>0.25\text{ mm}$ 土壤机械稳定性团聚体含量均有不同程度增加;与试验前土壤相比,0~10, 10~20 cm 土层,粒径 $>0.25\text{ mm}$ 土壤团聚体含量的最大增幅分别为 20% 和 6%,这说明施用有机肥后,土壤中团聚体含量明显提高。土壤水稳性团聚体含量的高低能够更好地反映土壤结构的稳定性和抗侵蚀能力的强弱,了解土壤水稳性团聚体的组成对探讨土壤肥力、土壤结构变化有着重要的理论和实践意义^[9]。本研究湿筛法结果表明,与试验前土壤相比,各有机肥处理土壤中粒径 $>0.25\text{ mm}$ 土壤水稳性团聚体含量均显著提高。这说明有机培肥可以提高水稳性土壤团聚体的稳定性,使土壤结构变得更加稳定,这与章明奎等^[10]的观点基本一致。已有研究表明,长期施用有机肥使土壤体积质量显著下降,土壤孔隙度增大^[11-14],这与本研究的结果基本一致。

土壤团聚体稳定性是土壤物理质量的综合体现,其不仅受土壤本身特征,特别是土壤有机质含量的影响,而且受土地利用方式和农业管理措施等因素的影响。有机质是土壤团聚体的主要胶结剂。在本试验中,土壤施入有机肥后,其养分中的有机质含量提高,所以相应的土壤团聚体的数量较对照处理显著提高,并且施入肥料后其分解残体激发微生物活性,形成真菌和糖,这些物质可胶结土壤颗粒形成大团聚体。

本研究连续 3 年的定位试验结果表明,施用有机肥可提高土壤含水量,有利于土壤的扩蓄增容,改善小麦播前的土壤水分状况,表现出一定的蓄水保水效果。在小麦返青期、灌浆期和收获期,有机肥处理较 CK 土壤贮水量均有不同程度提高。说明在黄土高原旱作区,增施有机肥不仅能培肥地力,而且对涵养土壤水分有良好的作用^[15]。

本试验结果还表明,有机肥处理的小麦产量及水分利用效率与 CK 差异显著。相关研究表明,作物产量在一定范围内随有机肥施用量的增加而增提高^[2,16],这与本研究结论基本一致。不同施肥处理的冬小麦水分利用效率较 CK 平均提高 33%,且与 CK 存在显著差异,而不同有机肥处理之间差异不显著。施用有机肥不仅对宁夏南部半干旱区作物增产具有显著效果,而且对该地区旱作农业的可持续发展具有重要意义,但其最适施肥量还需要深入研

究才能确定。

[参考文献]

- [1] 李凤民,徐进章. 黄土高原半干旱地区集水型生态农业分析 [J]. 中国生态农业学报,2002,10(1):102-103.
Li F M, Xu J Z. Rainwater-collecting eco-agriculture in semi-arid region of Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2002, 10(1): 102-103. (in Chinese)
- [2] 黄东迈. 有机肥养分循环与利用研究回顾 [J]. 土壤通报, 1994, 25(7): 2-3.
Huang D M. Review of the research on nutrient nycling and utilization [J]. Chinese Journal of Soil Science, 1994, 25(7): 2-3. (in Chinese)
- [3] 汪德水,程宪国,姚晓晔,等. 半干旱地区麦田水肥效应研究 [J]. 土壤肥料, 1994(2): 1-4.
Wang D S, Cheng X G, Yao X Y, et al. Effect of water and fertilizer on wheat field of semi-arid area [J]. Soils and Fertilizers, 1994(2): 1-4. (in Chinese)
- [4] 张富仓,康绍忠,李志军,等. 施肥对旱地土壤供水特征的影响 [J]. 沈阳农业大学学报, 2004, 35(5): 408-410.
Zhang F C, Kang S Z, Li Z J, et al. Effects of fertilization on the properties of soil water supply in dryland [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2004, 35(5): 408-410. (in Chinese)
- [5] 刘孝利,陈求稳,曾昭霞. 黄土高原区基肥对农田土壤水肥和产量的影响 [J]. 现代农业科学, 2008, 15(10): 25-29.
Liu X L, Chen Q W, Zeng Z X. The effects of base-fertilizer on soil water and nutrients and wheat yield in farm land of Loess Plateau Area [J]. Modern Agricultural Sciences, 2008, 15(10): 25-29. (in Chinese)
- [6] 张永清,苗果园. 水分胁迫条件下有机肥对小麦根苗生长的影响 [J]. 作物学报, 2006, 32(6): 811-816.
Zhang Y Q, Miao G Y. Effects of manure on root and shoot growth of winter wheat under water stress [J]. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(6): 811-816. (in Chinese)
- [7] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1978: 514-518.
Nanjing Institute of Soil Science of the Chinese Academy of Sciences. Analysis of soil physics [M]. Beijing: Science Press, 1978: 514-518. (in Chinese)
- [8] Six J, Elliott E T, Paustian K. Soil structure and soil organic matter II. A normalized stability index and the effect of mineralogy [J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64: 1042-1049.
- [9] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素 [J]. 土壤通报, 2005, 36(3): 415-421.
Wang Q K, Wang S L. Forming and stable mechanism of soil aggregate and influencing factors [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2005, 36(3): 415-421. (in Chinese)
- [10] 章明奎,何振立,陈国潮,等. 利用方式对红壤水稳团聚体形成的影响 [J]. 土壤学报, 1997, 34(4): 359-366.
Zhang M K, He Z L, Chen G C, et al. Formation of water-sta-

ble aggregates in red soils as affected by land use [J]. *Acta Pedologica Sinica*,1997,34(4):359-366. (in Chinese)

[11] 韩秉进,陈 渊,乔云发,等. 连年施用有机肥对土壤理化性状的影响 [J]. *农业系统科学与综合研究*,2004,20(4):294-296. Han B J,Chen Y,Qiao Y F,et al. Effect of long-term application organic fertilizer on soil physiochemical properties [J]. *System Sciences and Comprehensive Studies in Agriculture*,2004,20(4):294-296. (in Chinese)

[12] 唐友斌. 河泥肥对土壤和大麦产量的影响 [J]. *土壤肥料*,1997(2):39-40. Tang Y B. Effect of river fertilizer on soil and barley yield [J]. *Soils and Fertilizers*,1997(2):39-40. (in Chinese)

[13] 王改兰,段建南,贾宁凤,等. 长期施肥对黄土丘陵区土壤理化性质的影响 [J]. *水土保持学报*,2006,20(4):83-84. Wang G L,Duan J N,Jia N F,et al. Effects of long-term fertilization on soil physical and chemical property in Loess Hilly Area [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*,2006,20(4):83-84. (in Chinese)

[14] 孙洪德,肖延华. 试论有机肥料的增产作用 [J]. *吉林农业科学*,1995(2):59-61. Sun H D,Xiao Y H. The discussion of yield increasing effect through organic fertilizer [J]. *Jilin Agricultural Sciences*,1995(2):59-61. (in Chinese)

[15] 唐小明. 有机肥的保水培肥效果及对冬小麦产量的影响 [J]. *水土保持研究*,2003,10(1):131-132. Tang X M. Effects of manure on soil water-conversation and fertilizer betterment winter wheat yield in Loess Plateau dryland [J]. *Research of Soil and Water Conservation*,2003,10(1):131-132. (in Chinese)

[16] 徐阳春,沈其荣. 有机肥和化肥长期配合施用对土壤及不同粒级供氮特性的影响 [J]. *土壤学报*,2004,41(1):87-92. Xu Y C,Shen Q R. Influence of long-term combined application of manure and chemical fertilizer on supplying characteristics of nitrogen in soil and soil particle fractions [J]. *Acta Pedologica Sinica*,2004,41(1):87-92. (in Chinese)

(上接第 104 页)

[16] 赵 峰,千怀遂,焦士兴. 农作物气候适宜度分析 [J]. *资源科学*,2003,25(6):77-82. Zhao F,Qian H S,Jiao S X. The analysis of climate suitability of crop [J]. *Resource Science*,2003,25(6):77-82. (in Chinese)

[17] 赵 峰,千怀遂,焦士兴. 农作物气候适宜度模型研究——以河南省冬小麦为例 [J]. *资源科学*,2003,25(6):78-80. Zhao F,Qian H S,Jiao S X. The climate suitability model of crop;a case study of winter wheat in He’nan Province [J]. *Resource Science*,2003,25(6):78-80. (in Chinese)

[18] 罗怀良,陈国阶. 四川洪雅县农业气候适宜度评价 [J]. *农业现代化研究*,2001,22(5):280-281. Luo H L,Chen G J. Assessment of agro-climate suitability-degree in Hongya County of Sichuan Province [J]. *Research of Agricultural Modern Ization*,2001,22(5):280-281. (in Chinese)

[19] 邓振镛,尹 东,张 毅. 甘肃省小麦生态气候适种种植区的研究 [J]. *气象科技*,2000,28(1):38-39. Deng Z Y,Ying D,Zhang Y. The study of ecological suitability of wheat in planting area of Gansu [J]. *Meteorological Science and Technology*,2000,28(1):38-39. (in Chinese)

[20] 白永平. 西北地区(甘宁青)农业生态气候资源量化与评价 [J]. *自然资源学报*,2000,15(3):223-224. Bai Y P. Quantitative analysis and classified appraisal of agroecoclimatic resources in Northwest China (Gansu, Ningxia and Qinghai) [J]. *Journal of Natural Resources*,2000,15(3):223-224. (in Chinese)