

# 施肥与覆膜对棕壤 Olsen-P 剖面分布及动态变化的影响

史文娇<sup>1</sup>, 汪景宽<sup>1\*</sup>, 祝凤春<sup>1</sup>, 高中超<sup>2</sup>

(1 沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁沈阳 110161; 2 黑龙江省农业科学院土壤肥料研究所, 黑龙江哈尔滨 150086)

**摘要:** 利用沈阳农业大学长期定位试验站裸地和覆膜的不同施肥处理(不施肥、单施氮肥、有机肥、有机无机肥配施)及其附近不同土地利用方式,探讨了不同施肥处理和覆膜对整个生长季的棕壤 Olsen-P 剖面(0—100 cm)分布及动态变化的影响。结果表明,耕地棕壤各施肥处理土壤剖面 Olsen-P 含量均表现为 0—20 cm 和 60—100 cm 大于 20—60 cm; 而自然草地、自然林地棕壤 Olsen-P 含量则随深度加深(0—100 cm)而逐渐增多。施用有机肥或有机无机肥配施处理的 Olsen-P 含量在 60 cm 土层以上均远大于不施肥或单施氮肥处理;覆膜后不施肥、有机肥、有机无机肥配施处理土壤 0—40 cm 土层的 Olsen-P 含量略有降低(0—20 cm 土层有机肥处理除外),但差异未达到显著水平。说明施有机肥或有机无机肥配施,是补充土壤 Olsen-P 的有效措施;但施肥时应深施以补充表层以下土壤 Olsen-P 含量。覆膜未对本研究的棕壤 Olsen-P 含量产生显著的负面影响。

**关键词:** 棕壤; Olsen-P; 施肥; 覆膜; 土地利用方式

中图分类号: S153.6

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2007)02-0248-06

## Effects of fertilization and mulching with plastic film on profile distribution and dynamics of Olsen-P in brown earth

SHI Wen-jiao<sup>1</sup>, WANG Jing-kuan<sup>1\*</sup>, ZHU Feng-chun<sup>1</sup>, GAO Zhong-chao<sup>2</sup>

(1 Land and Environment College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2 Soil and Fertilizer Institute, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

**Abstract:** A long term located experiment with different fertilization treatments in Shenyang Agricultural University and an investigation of nearby brown earth under different land use patterns were carried out to study the profile distributions (0—100 cm) and dynamics of Olsen-P during the whole growth stage. Four fertilization treatments were involved in this experiment: no fertilization, single nitrogen application, single organic fertilizer application, combine application of organic and chemical fertilizer. The results showed that contents of Olsen-P in 0—20 and 60—100 cm of the crop land were higher than that in 20—60 cm. The contents of Olsen-P in native soils (grassland and woodland) increased with the deepening of soil layer in 0—100 cm. Contents of Olsen-P in the treatments applied organic, organic and chemical fertilizers combined were higher than that in no fertilization and single nitrogen application. Under plastic film mulching condition, Olsen-P in 0—40 cm soils, except 0—20 cm soil with single organic fertilizer application, were not statistically significantly decreased. In conclusion, using organic or organic and chemical fertilizer combined were effective measures to accumulate Olsen-P of soils. Deep placement of fertilizer should be employed for the supplement of Olsen-P. Mulching did not have significant effects on the distribution of Olsen-P in soil profile of brown earth in this study.

**Key words:** brown earth; Olsen-P; fertilization; mulching; land use patterns

收稿日期: 2005-11-21

修改稿收到日期: 2006-06-15

基金项目: 国家重点基础研究发展(973)规划项目(2005CB121108)和国家自然科学基金(40571089)资助。

作者简介: 史文娇(1982—),女,辽宁葫芦岛人,硕士,主要从事土壤肥力、土壤质量等方面的研究。

Tel: 010-62944884, E-mail: shiwenjiaocool@163.com。

\* 通讯作者 Tel: 024-88487138, E-mail: jkwang@syau.edu.cn

自然界中磷素循环生态过程的研究对于解决农业、环境及资源问题具有重要意义。充分了解土壤理化性质的变化是土壤养分管理和农田合理施肥的基础<sup>[1]</sup>,不同的施肥处理<sup>[2-4]</sup>和土地利用方式<sup>[5]</sup>一般会对土壤理化性质产生较大影响,其对土壤磷素的影响报道已有不少<sup>[2-6]</sup>。由于不同地区、不同土壤类型及不同的施肥处理和土地利用方式的研究结果存在较大差异,而针对不同生长季的不同施肥处理棕壤 Olsen-P 剖面分布的研究也相对缺乏。因此,本研究对沈阳农业大学棕壤长期定位试验站不同施肥处理和覆膜条件下,作物整个生长季土壤中 Olsen-P 含量的剖面分布状况进行研究,以探讨不同施肥处理和覆膜对土壤 Olsen-P 剖面分布的影响,为棕壤的磷素循环和利用管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验方法

供试土壤(0—100 cm)采自沈阳农业大学棕壤长期施肥与地膜覆盖定位试验站(东经 123°34',北纬 41°49'),土壤为发育在黄土性母质上的壤质棕壤。气候条件属北温带大陆季风气候区,冬季寒冷干燥,夏季高温多雨;年均温 7.2℃,≥10℃积温 3350℃;年降水量 730 mm,85%集中于 4—9 月。

长期定位试验从 1987 年开始进行,分裸地(Uncovered)和地膜覆盖(Covered)栽培两组。施肥处理选用:1)对照,即不施肥处理(CK);2)高量氮肥处理,年施 N 为 270 kg/hm<sup>2</sup>(N4);3)高量有机肥处理,年施新鲜猪粪为 42000 kg/hm<sup>2</sup>(M4);4)高量有机肥与氮磷肥配施处理,年施新鲜猪粪为 42000 kg/hm<sup>2</sup>,N 135 kg/hm<sup>2</sup>,P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 67.5 kg/hm<sup>2</sup>(M4N2P1);5)自然草地;6)自然林地(5、6 两处理采自该长期定位试验站东 100 m 左右自然植被下的棕壤,其母质类型与耕地棕壤完全相同)等 6 个处理,3 次重复,随机排列,每小区面积 69 m<sup>2</sup>。施用的有机肥为猪厩肥,其有机质含量为 200 g/kg 左右,全 N 和全磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)为 10—15 g/kg。所用化肥为尿素和磷酸二铵。连作玉米于每年 4 月 25 日左右施肥、播种、覆膜,并按常规进行田间管理,9 月 25 日左右收获。

### 1.2 土壤样品的采集和分析测定方法

本试验土壤样品采集时间覆盖 2003 年作物整个生长季,包括播种前期(4 月 20 日)、出苗期(5 月 13 日)、拔节期(6 月 13 日)、抽雄期(7 月 15 日)、长粒期(8 月 15 日)、成熟期(9 月 14 日)、收获后期(10 月 20 日)6 个植物生长的重要时期。采用荷兰生产

的土钻采集 0—20、20—40、40—60、60—80、80—100 cm 5 个层次,每个施肥处理有 3 个重复。

土壤 Olsen-P 采用 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> (pH8.5)浸提(Olsen 法),钼锑抗显色,Unic WFJ7200 型可见分光光度计测定,测定波长为 700 nm。

## 2 结果与分析

### 2.1 棕壤 Olsen-P 剖面分布特征

供试耕地各施肥处理棕壤的 Olsen-P 剖面分布具有较为相似的特征,表现为 0—20 cm 含量较高,20—60 cm 含量较低,60—100 cm 又逐渐升高(图 1)。方差分析表明,不同层次的 Olsen-P 含量差异达极显著水平。

图 1 看出,无论覆膜与否,不施肥对照和施氮处理(CK 和 N4),由于作物从土壤表层吸收的 Olsen-P 含量相对较少,使得 0—20 cm 土层 Olsen-P 含量高于 20—60 cm;而施有机肥和有机无机配施处理(M4 和 M4N2P1)处理,由于施入磷量大于作物吸收磷量,并且肥料又主要集中在土壤表层,导致了磷素在土壤表层的富集。

各施肥处理的 20—60 cm 土层中 Olsen-P 含量较低,主要与作物对这个层次磷素吸收利用有关。这个层次的磷素主要由土壤提供,而传统的耕作方法往往将磷肥施用在土壤表层,磷肥的当季利用率又低,使得施入的磷肥大多残留于表土层中。Kuhlmann<sup>[7]</sup>在德国中部和北部 13 种土壤上进行了大量田间试验和盆栽试验表明,小麦全生育期 37%~85%需磷量是由 30—60 cm 的底土层提供的。由此可见,表层以下的土层缺磷的可能性较大,而土壤中 Olsen-P 空间分布的不均衡现象也是导致磷肥利用率低的一个潜在因素<sup>[8]</sup>。

60—100 cm 土层 Olsen-P 含量有所回升,显著高于 20—60 cm 土层,这可能与底土中 Olsen-P 含量主要受母质中全磷含量的影响有关。贾文锦<sup>[9]</sup>调查辽宁省 6 个淋溶褐土剖面 Olsen-P 含量的垂直分布与本研究的垂直分布具有类似的特征。张玉革等<sup>[10]</sup>对 4 种土地利用方式的潮棕壤 0—150 cm 剖面;杨学云等<sup>[2]</sup>对不同施肥处理瘠土 0—300 cm 剖面以及于向华等<sup>[11]</sup>对水田 0—100cm 剖面进行研究也都发现类似现象。

耕地棕壤无论施肥与否,都与自然草地、自然林地棕壤 Olsen-P 剖面分布显著不同,而自然草地和自然林地棕壤 Olsen-P 剖面具有极为相似的特征,均表现为随深度加深(0—100 cm)Olsen-P 含量逐渐增多

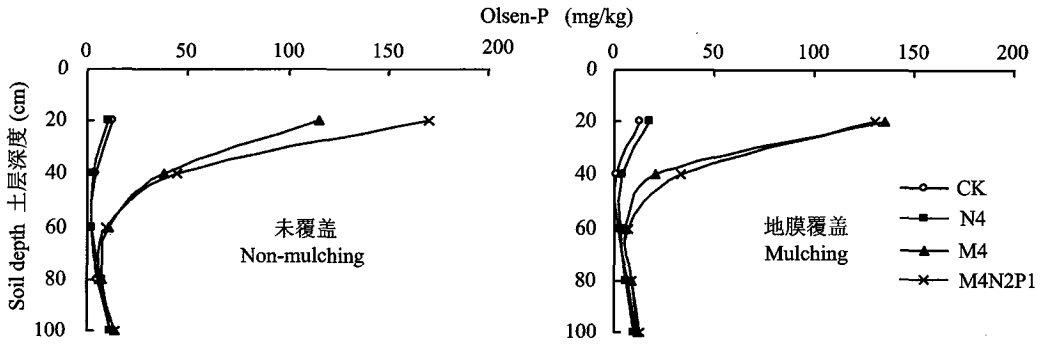


图 1 土壤 Olsen-P 的剖面分布

Fig.1 Distribution of Olsen-P in different treatments

(图中数据为 4 月 20 日至 10 月 20 日 7 次测定的平均值,下同。)

Data in the figure are average of 7 determinations from 20 Apr. to 20 Oct., same below figure)

(图 2)。自然草地和自然林地的表层(0—20 cm) Olsen-P 含量远小于耕地,这可能是与在自然草地、自然林地的表层全磷含量较低的原因,也可能是由于在自然草地、自然林地的植物根系对土壤中 Olsen-P 的吸收大于对土壤 Olsen-P 的归还有关。统计分析表明,不同利用方式即耕地对照 CK(不施肥、无覆盖)、自然草地、自然林地对 0—20 cm、20—40 cm 土层 Olsen-P 含量产生了显著或极显著影响,这两个层次的耕地(CK) Olsen-P 含量显著或极显著大于自然草地和自然林地;不同利用方式对 40—60 cm、60—80 cm 土层 Olsen-P 含量未产生显著影响;但对 80—100 cm 土层 Olsen-P 含量产生了显著影响,在这一层次自然林地 Olsen-P 含量显著或极显著大于耕地对照(CK)和自然草地。可见,土地利用方式不同,棕壤 Olsen-P 剖面分布截然不同。

### 2.2 不同施肥处理对棕壤 Olsen-P 动态变化的影响

不同施肥处理对棕壤 Olsen-P 剖面分布产生了显著影响(表 1)。经方差分析表明,在整个生长季过程中,施肥对未覆盖地 0—20、20—40 cm 和地膜覆盖地 0—20、20—40、40—60、60—80 cm 土层的 Olsen-P 含量产生了显著或极显著的影响,即本试验中施肥处理对未覆盖地土壤磷的影响只达到了 0—40 cm,而对覆膜土壤的影响却达到了 80 cm。无论覆盖与否, M4 和 M4N2P1 处理在 0—60 cm 土层 Olsen-P 含量均高于 CK 和 N4 处理,以 0—40 cm 土层尤为明显。

在整个生长季过程中,未覆盖地 0—20 cm 土层的 Olsen-P 含量以 8 月份(长粒期)M4N2P1 处理为最高(369.770 mg/kg),4 月份(播种前期)的 N4 处理为最低(5.617 mg/kg);覆膜地 0—20 cm 土层的 Olsen-P 含量

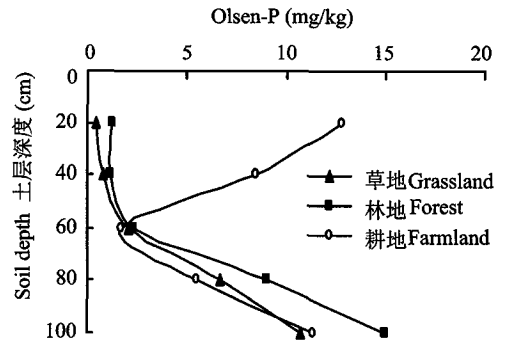


图 2 不同土地利用方式棕壤剖面中 Olsen-P 的变化

Fig.2 Changes of Olsen-P in soils with land use patterns

(耕地为不施肥、未覆盖的对照处理)

Farmland is the treatment of mulching and no fertilizer)

以 8 月份(长粒期)的 M4N2P1 处理为最高(177.895mg/kg)和 CK 处理为最低(10.120 mg/kg)。未覆盖地 20—40 cm 土层的 Olsen-P 含量以 8 月份(长粒期)的 M4N2P1 处理为最高(92.251 mg/kg),6 月份(拔节期)的 CK 处理为最低(0.602 mg/kg);而覆膜地以 10 月份(收获后期)的 M4N2P1 处理最高(55.079 mg/kg),7 月份(抽雄期)的 CK 处理为最低(0.080 mg/kg)。这些与前人的研究结果相类似<sup>[12]</sup>。

有机肥(M4)和有机无机肥配施(M4N2P1)处理施入土壤的磷素,除被作物吸收外,大部分积累在土壤中,且较多的积累在土壤表层(0—20 cm),这些磷一部分被土壤固定,另一部分进入了速效磷库,因此施有机肥和有机无机肥配施的土壤 Olsen-P 含量显著高于不施磷肥土壤(CK、N4 处理)。这是因为有机肥自身含有一定数量易分解释放的有机磷,施有机肥后可增加土壤有机质含量;而且有机阴离子可参与竞争土壤固相表面的专性吸附点,从而降低对

磷的吸附固定,其分解产生的某些有机酸可与土壤中难溶性磷酸盐的金属离子产生络合反应从而释放

其中的磷;同时,腐殖质可在铁、铝氧化物等胶体的表面形成包蔽,可减少对磷的吸附固定<sup>[13]</sup>。

表 1 不同处理土壤 Olsen-P 动态变化 (mg/kg)  
Table 1 Dynamics of Olsen-P in soil of different treatment

日期(日/月) Date (d/mon)	处理 Treatments							
	未覆盖 Mon-mulching				地膜覆盖 Mulching			
	CK	N4	M4	M4N2P1	CK	N4	M4	M4N2P1
0—20 cm								
20/4	9.96	5.62	69.52	108.3	10.61	17.83	70.52	85.64
13/5	12.37	10.47	95.78	123.65	15.97	13.56	100.74	96.90
13/6	13.71	8.32	115.87	162.17	12.73	14.63	116.03	135.30
15/7	10.38	17.00	128.74	142.67	13.73	16.52	146.69	174.41
15/8	13.67	11.42	148.16	369.77	10.12	26.12	241.83	177.90
14/9	10.94	9.16	127.20	115.07	10.23	11.14	98.47	120.07
20/10	18.75	11.38	122.00	170.95	12.64	23.61	175.72	125.83
20—40 cm								
20/4	3.84	1.15	25.51	26.44	1.84	3.76	7.88	13.97
13/5	2.56	2.28	18.08	18.09	1.33	4.56	16.59	35.56
13/6	0.60	1.40	17.15	42.18	0.22	1.49	9.57	17.48
15/7	2.18	7.95	41.10	26.24	0.08	1.79	25.66	13.29
15/8	3.20	3.62	38.60	92.25	1.09	6.19	53.94	49.56
14/9	5.05	3.42	61.05	31.28	0.63	4.14	11.80	47.14
20/10	11.47	4.25	62.22	75.79	2.52	5.73	21.49	55.08
40—60 cm								
20/4	3.01	2.43	3.74	4.81	1.67	3.09	3.94	5.18
13/5	1.55	1.39	6.18	5.62	2.67	3.78	4.45	9.91
13/6	0.63	0.52	1.26	24.68	0.24	2.03	3.40	4.37
15/7	1.19	3.41	10.66	1.63	1.01	0.91	4.03	4.14
15/8	1.65	2.19	4.33	10.45	2.39	3.77	13.39	6.21
14/9	0.84	3.51	38.49	2.74	0.15	1.42	3.69	5.16
20/10	3.39	2.58	9.29	13.38	3.71	6.36	10.86	9.94
60—80 cm								
20/4	9.26	9.28	9.65	4.35	4.72	6.58	7.64	11.85
13/5	7.62	7.95	7.45	6.12	8.07	6.01	7.73	9.86
13/6	5.97	6.60	4.60	8.60	5.89	5.45	5.14	5.83
15/7	3.36	5.97	10.10	4.60	5.66	3.93	7.48	5.06
15/8	4.27	8.55	6.58	9.82	6.59	7.96	13.09	10.01
14/9	3.12	7.52	5.11	4.29	5.57	3.20	7.42	12.56
20/10	4.67	7.02	9.23	9.38	8.57	8.99	10.84	8.99
80—100 cm								
20/4	10.97	10.45	13.37	9.45	9.56	10.33	10.98	11.24
13/5	12.25	13.93	12.47	11.30	12.75	11.30	12.58	13.48
13/6	16.78	11.55	12.81	14.73	10.00	8.26	9.63	11.67
15/7	8.52	8.34	13.08	8.89	11.08	5.06	11.15	9.69
15/8	11.56	13.43	14.25	28.96	11.61	10.01	17.59	11.39
14/9	7.44	10.73	15.38	9.81	8.20	12.22	8.29	11.56
20/10	12.17	12.44	17.37	16.73	11.85	13.85	14.69	17.99

### 2.3 覆膜对棕壤 Olsen-P 剖面分布的影响

研究表明,覆膜可以显著提高作物产量,使作物吸磷量明显增多,导致土壤中的 Olsen-P 含量下降<sup>[14]</sup>。由覆膜和未覆膜条件下不同施肥处理棕壤 Olsen-P 含量的动态变化(表 1)可看出,在 0—20 cm 土层中,覆膜后 CK 处理于 6、8、9、10 月份和 M4N2P1 处理于 4、5、6、8、10 月份 Olsen-P 含量下降,而 N4 (除 7 月份)和 M4(除 9 月份)处理的 Olsen-P 含量则高于未覆膜地;在 20—40 cm 土层中,覆膜后大部分生长季(7 月份除外)N4 处理 Olsen-P 含量升高,而 CK(整个生长季)、M4(8 月份除外)、M4N2P1(5、9 月份除外)处理覆膜后 Olsen-P 含量有降低趋势;在 40—100 cm,各处理覆膜后 Olsen-P 含量未出现明显规律,表现为在不同生长季覆膜后的 Olsen-P 含量交替升高或降低。在整个生长季过程中,覆膜虽对土壤(尤其是 0—40 cm 土层)的 Olsen-P 含量产生了影响,但经 t 检验表明,覆膜与未覆膜土壤剖面各层间 Olsen-P 含量的差异均未达到显著水平。表明本试验条件下,覆膜的负面效应尚未对土壤 Olsen-P 剖面分布产生显著影响。

## 3 结论

1)耕地棕壤各施肥处理土壤剖面 Olsen-P 含量均表现为 0—20 cm 较高,尤其是施用有机肥(M4)和有机无机肥配施(M4N2P1)处理土壤的 Olsen-P 在土壤表层中大量积累;20—60 cm Olsen-P 含量降低;60—100 cm 土层 Olsen-P 含量逐渐升高。说明施用有机肥或有机无机肥配施可有效地补充土壤表层 Olsen-P 含量;表层以下的土层缺磷的可能性较大,施肥时应深施。

2)不同土地利用方式对棕壤 Olsen-P 剖面分布特征产生了显著影响。与耕地棕壤不同,自然草地、林地棕壤 Olsen-P 剖面均表现为随深度(0—100 cm)加深,Olsen-P 含量逐渐增多,但表层明显低于耕地棕壤。

3)不同施肥处理对棕壤 Olsen-P 剖面分布产生了显著影响。无论覆膜与否,施肥对 Olsen-P 剖面的影响都可达到 0—40 cm;0—60 cm 土层中,施用有机肥(M4)和有机无机肥配施(M4N2P1)施肥处理 Olsen-P 含量明显大于不施肥(CK)和单施氮肥(N4)处理。可见,施用有机肥或有机无机肥配施是补充土壤 Olsen-P 的有效措施。

4)覆膜后由于作物产量增加使作物的吸磷量明显增加,导致了土壤中的 Olsen-P 含量下降。即覆膜

后不施肥(CK)、有机肥(M4)、有机无机肥配施(M4N2P1)处理土壤 0—40 cm 土层的 Olsen-P 含量略有降低(0—20 cm 土层 M4 处理除外),但经 t 检验结果,覆膜与未覆膜土壤各剖面 Olsen-P 含量的差异未到显著水平,即表明本试验条件下,覆膜尚未对土壤 Olsen-P 剖面分布产生显著影响。

### 参考文献:

- [1] Franzen D W, Horman V L, Halvorson A D *et al.* Sampling for site-specific farming: Topography and nutrient considerations [J]. *Better Crop*, 1996, 80(3): 14-18.
- [2] 杨学云,李生秀,Brookes P C. 灌溉与旱作条件下长期施肥土壤剖面磷的分布和移动[J]. *植物营养与肥料学报*, 2004, 10(3): 250-254.  
Yang X Y, Li S X, Brookes P C. Phosphorus distribution and leaching in loessial soil profile with long-term fertilization under irrigation and rainfed condition [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2004, 10(3): 250-254.
- [3] 刘树堂,姚远喜,隋方功,等.长期定位施肥对土壤磷、钾素动态变化的影响[J]. *生态环境*, 2003, 12(4): 452-455.  
Liu S T, Yao Y X, Sui F G *et al.* Effects of long-term fertilization on dynamics of phosphorus and potassium in soil [J]. *Ecol. Environ.*, 2003, 12(4): 452-455.
- [4] 刘建玲,张福锁.小麦—玉米轮作长期肥料定位试验中土壤磷库的变化 II.土壤 Olsen-P 及各形态无机磷的动态变化[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(3): 365-368.  
Liu J L, Zhang F S. Dynamics of soil P pool in a long-term fertilizing experiment of wheat - maize rotation II. Dynamics of soil Olsen-P and inorganic P [J]. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2000, 11(3): 365-368.
- [5] 姜勇,张玉革,梁文举,等.土地利用方式对潮棕壤磷素剖面分布的影响[J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24(3): 512-516.  
Jiang Y, Zhang Y G, Liang W J *et al.* Effects of land use on the profile distribution of phosphorus in aquatic brown soil [J]. *J. Agro - Environ. Sci.*, 2005, 24(3): 512-516.
- [6] 周宝库,张喜林.长期施肥对黑土磷素积累、形态转化及其有效性影响的研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(2): 143-147.  
Zhou B K, Zhang X L. Effect of long-term phosphorus fertilization on the phosphorus accumulation and distribution in black soil and its availability [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2005, 11(2): 143-147.
- [7] Kuhlmann H. Importance of the subsoil for the K-nutrition of crops [J]. *Plant Soil*, 1990, 127: 129-136.
- [8] Brady N C, Weil R R. *The nature and properties of soil* [M]. New Jersey: Pearson Education Inc., 2002.
- [9] 贾文锦. *辽宁土壤* [M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1992. 224-316.  
Jia W J. *Soils of Liaoning* [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 1992. 224-316.
- [10] 张玉革,姜勇,梁文举,等.潮棕壤不同利用方式 pH 和 Olsen-P 的垂直变化特征[J]. *水土保持学报*, 2004, 18(4): 89-92.  
Zhang Y G, Jiang Y, Liang W J *et al.* Vertical variation of soil pH

- and Olsen-P in aquatic brown soil as affected by land use journal of soil and water conservation [J]. *J. Soil Water Conserv.*, 2004, 18(4): 89-92.
- [11] 于向华,王道涵,梁成华. 水田土壤剖面磷素分布特征[J]. 辽宁农业大学, 2004(5): 10-12.  
Yu X H, Wang D H, Liang C H. The characteristic of phosphorus distributed in profile of the paddy field [J]. *Liaoning Agric. Sci.*, 2004(5): 10-12.
- [12] 尹金来,沈其荣,周春霖,等. 猪粪和磷肥对石灰性土壤有机磷组分及有效性的影响[J]. 土壤学报, 2001, 38(3): 295-300.  
Yin J L, Shen Q R, Zhou C L *et al.* Effects of pig slurry and phosphatic fertilizer on organic-P fractions and their availabilities [J]. *Acta Pedol. Sin.*, 2001, 38(3): 295-300.
- [13] 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.  
Zhao X Q, Lu R K. Effect of organic manures on soil phosphorus adsorption [J]. *Acta Pedol. Sin.*, 1991, 28(1): 7-13.
- [14] 汪景宽,张继宏,须湘成,等. 地膜覆盖对土壤肥力影响的研究[A]. 张继宏,颜丽,窦森. 农业持续发展的土壤培肥研究[C]. 沈阳: 东北大学出版社出版, 1995. 258-262.  
Wang J K, Zhang J H, Xu X C *et al.* The effect of mulching in soil fertility [A]. Zhang J H, Yan L, Dou S. A study on building up soil fertility for sustainable development of agriculture [C]. Shenyang: Northern University Press, 1995. 258-262.