

大机械作业对黑土区耕地土壤结构性特征的影响^{*}

王恩姮 柴亚凡 陈祥伟^{**}

(东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

摘 要 以东北典型黑土区耕地土壤为研究对象, 通过对不同(大、中型)机械作业前后土壤硬度、容重和非毛管孔隙度/毛管孔隙度比值(NCP/CP)等结构性特征指标的测定和分析, 研究了机械作业对土壤物理性质的影响。结果表明, 机械作业后, 土壤硬度在垂直梯度上均存在 3 个明显交替变化的层面, 自上而下依次为耕作区、压实积累区和无影响区, 中机械作业的土壤各层变化范围相对较浅, 在 17.5 ~ 30 cm 范围内形成了新的土壤板结。大机械作业对黑土区耕地土壤结构性特征的影响以疏松作用为主, 尤其对表层土壤的改良效果显著($P < 0.05$), 与收获前相比, 收获和深松作业后土壤容重分别降低了 3.5% 和 7.2%, 深松后 NCP/CP 提高了 556.6%, 这对增加入渗、削弱水土流失的潜在威胁极为有利; 中机械作业则以压实作用为主。

关键词 大机械 土壤压实 土壤硬度 容重 NCP/CP

文章编号 1001-9332(2008)02-0351-06 中图分类号 S152.4 文献标识码 A

Effects of heavy machinery operation on the structural characters of cultivated soils in black soil region of Northeast China. WANG En-heng, CHAI Ya-fan, CHEN Xiang-wei (College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2008, 19(2): 351-356.

Abstract: With the cultivated soils in black soil region of Northeast China as test objects, this paper measured their structural characters such as soil strength, bulk density, and non-capillary porosity/capillary porosity (NCP/CP) ratio before and after heavy and medium-sized machinery operation, aimed to study the effects of machinery operation on the physical properties of test soils. The results showed that after machinery operation, there existed three distinct layers from top to bottom in the soil profiles, i. e., plowed layer, cumulative compacted layer, and non-affected layer, according to the changes of soil strength. Under medium-sized machinery operation, these three layers were shallower, and there was a new plow pan at the depth between 17.5 and 30 cm. Heavy machinery operation had significant positive effects on the improvement of topsoil structure ($P < 0.05$). After subsoiling and harvesting with heavy machinery, the bulk density of topsoil decreased by 7.2% and 3.5%, respectively, and NCP/CP increased by 556.6% after subsoiling, which would benefit water infiltration, reinforce water storage, and weaken the threat of soil erosion. The main action of heavy machinery operation was soil loosening, while that of medium-sized machinery operation was soil compacting.

Key words: heavy machinery; soil compaction; soil strength; bulk density; non-capillary porosity/capillary porosity (NCP/CP).

随着科学技术的进步和机械化程度的日益提高, 机械作业在农业生产中越来越得到高度重视和普遍应用。机械作业尤其是大型机械的应用, 对提高农业生产效率、推进农业集约化进程起到了积极的

推动作用。然而, 机械作业势必对耕地土壤的结构产生不同程度的影响^[1-4]。关于机械作业对土壤结构和质量影响的研究重点和热点主要集中在机械压实方面^[5-10]。欧美等农业集约化程度高的国家首先发现土壤机械压实问题, 并对其诱因、特征、危害及消除措施进行了大量研究, 认为机械压实后, 土壤紧实度升高、容重增加、孔隙度降低^[11-14], 阻碍了土层内水、气、热的传输, 破坏了土体结构功能, 进而影响了

^{*} 教育部博士点基金项目(20060225012)和黑龙江省重大科技攻关资助项目(GA06B302-3)。
^{**} 通讯作者。E-mail: chenxwnfu@yahoo.com.cn
2007-03-07 收稿, 2007-12-07 接受。

作物的生长和产量^[15-20];长期积累压实甚至可导致丰富的地表径流,引发水土流失^[21-22].事实上,机械作业的许多过程如深松整地、中耕和收获对耕地土壤的影响不仅仅体现在压实方面,还与疏松有关,但迄今为止,同时从疏松和压实两方面研究机械作业对土壤结构影响的研究尚未见报道.

黑土是我国重要的土壤资源,但由于其自身抗蚀性差,以及开垦过程中各种自然条件和人为因素的影响,导致其土壤侵蚀日趋严重^[23].黑土区作为我国重要的商品粮生产基地,机械化作业生产成为提高效率 and 效益的重要手段.为此,本文结合实际生产,以东北典型黑土区耕地土壤为研究对象,通过对收获和深松整地机械作业前后耕地土壤的结构性特征指标的测定和分析,研究大机械作业对耕地土壤结构影响的正负效益,以期科学地确定大机械作业参数、有效地发挥大机械作业对耕作层土壤水、气、肥、热的改善作用,解决黑土资源的保护与利用之间的矛盾提供理论依据.

1 研究地区与研究方法

1.1 自然概况

研究地点位于黑龙江省西北部克山县境内的克山农场(48°12′—48°23′N、125°8′—125°37′E).该区域地势起伏不平,属于克拜丘陵漫岗地带,海拔240~340 m,平均坡度3°.区域内土壤类型以黑土占绝对优势,只在部分低洼处镶嵌分布少量的草甸土,属典型黑土区.该地温带大陆性季风气候特征明显,年平均气温0.9℃,≥10℃有效积温2 296.2℃,无霜期115 d,年降水量501.7 mm,年平均蒸发量1 329.4 mm,平均风速3.1 m·s⁻¹,土壤冻结期从11月初至翌年4月中旬,最大结冻深度可达2.5 m.

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择 考虑到与小麦、玉米、大豆等作物相比,马铃薯生长结实对土壤深度、硬度、孔隙条件等的要求更加严格^[24],在克山农场分别选择1块由大型机械和中型机械作业的马铃薯耕地为研究对象.2006年9—10月,分别于作物收获前(对照)、收获后(1次碾压)和深松后(2次碾压)在样地内机械布设6个样点,在0~80 cm土层垂直范围内,按10 cm分层布设测点和取样点,每处理3次重复.

1.2.2 作业机械 试验采用的保护性重型机械(简称大机械)有2种,一种为德国GRIMME公司生产的V562-815轮式马铃薯收获机,结构质量18 600 kg,功率208.80 kW;另一种为美国卡特公司生产的

MT865履带式拖拉机,属深松牵引机具,结构质量和功率分别为17 599 kg和372.86 kW.配套专用的深松作业机械为美国凯斯公司生产的DMI ecologer 9300.中型机械(简称中机械)为国产东方红-1002履带式拖拉机,属收获、深松牵引机具,结构质量和功率分别为7 300 kg和74.57 kW.

1.2.3 土壤物理性质的测定 土壤硬度(楔入土壤阻力)采用南京产TE-3型土壤硬度计进行田间实际测定^[25];土壤容重和孔隙度的测定采用环刀法^[26],环刀规格为100 cm³.

1.3 数据处理

采用SigmaPlot和Excel软件对数据进行处理,并进行T检验.

2 结果与讨论

2.1 机械作业对土壤硬度的影响

在马铃薯耕作机械作业过程中,收获和深松是对土壤结构扰动最强烈的两个过程,由于大机械和中机械在结构质量、功率和作业深度等性能上的差异,导致土壤硬度垂直变化特征表现出明显不同的规律性(图1).在0~80 cm土层范围内,大机械作业的土壤硬度在垂直梯度上存在3个明显交替变化的层面,自上而下依次为耕作区(0~40 cm)、压实的层面,

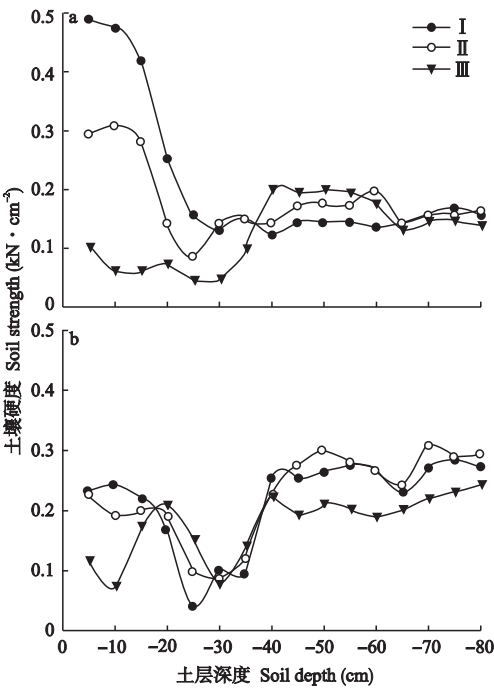


图1 机械作业对土壤硬度的影响
Fig.1 Effect of machinery operation on soil strength.
a) 大机械 Heavy machinery; b) 中机械 Medium machinery. I: 收获前 Before harvesting; II: 收获后 After harvesting; III: 深松后 After subsoiling. 下同 The same below.

积累区(41~60 cm)和无影响区(>60 cm)。与大机械作业相比,中型机械作业的土壤硬度在垂直梯度上的变化规律有所不同,虽然其自上而下同样存在耕作区(0~30 cm)、压实积累区(31~40 cm)和无影响区(>40 cm),但各层变化的范围相对较浅,尤其在17.5~30 cm范围内,由于中机械收获和整地作业深度不一致(收获作业深度可达30 cm,整地作业深度仅在20 cm以内),导致对该土层干扰混乱,甚至产生新的土壤板结,造成土壤硬度随着作业次数的增加而升高。

与收获前相比,大机械收获、深松作业后土壤硬度呈大幅度降低趋势,收获前最高为 $0.49 \text{ kN} \cdot \text{cm}^{-2}$,深松后最低仅为 $0.05 \text{ kN} \cdot \text{cm}^{-2}$ ($P < 0.05$);中机械作业前后土壤硬度的变化规律仅在0~17.5 cm范围内与大机械一致,但降低幅度相对较小。产生这种变化规律的原因在于,耕作区的深度和土壤硬度的变化与作业机具的结构和功能密切相关。大机械深松机具(DMI eco-lo-tiger 9300)的作业深度可达45~50 cm,比传统中小型联合整地机具的作业深度为20~30 cm,且DMI eco-lo-tiger 9300 铲尖设计的工作深度在板结层以下,带翼的铲尖还可将土壤粉碎、提升、扭曲,翻转板结层,使耕作区内不再形成新的板结。因此,与中机械相比,大机械深松作业可以打破土壤原板结层,改良土壤的作用强、范围大,能够拓宽耕作区,进而利于马铃薯的多层结实。

机械作业后土壤压实积累区硬度的变化特征总体上表现为随着机械作业及碾压次数的增加而升高的趋势,即深松后>收获后>收获前,这是长期多次压实的累积效果。不同机械作业土壤硬度的变化幅度不大,但土壤压实积累区的垂直范围存在明显差异。其中,大机械作业土壤压实累积区出现的深度比中机械深10 cm,且分布的范围也比中机械大10 cm。因此可以认为,大机械作业对土壤的压实作用主要表现在耕作区下层的土壤压实积累区。此外,由于压实积累区的形成,无论是大机械还是中机械作业对马铃薯耕地压实积累区以下土壤硬度的影响都无规律性,甚至可以说影响。

2.2 机械作业对土壤容重的影响

土壤容重是反映土壤紧实程度、孔隙状况等结构性特征的重要指标。容重的变化直接或间接地影响土壤的水、肥、气、热状况,进而影响作物的生长^[27]。根据2.1的研究结果,分别对不同机械作业下的表层耕作区和其下层非耕作区土壤容重及其变化进行统计分析,结果表明,在耕作过程中大机械

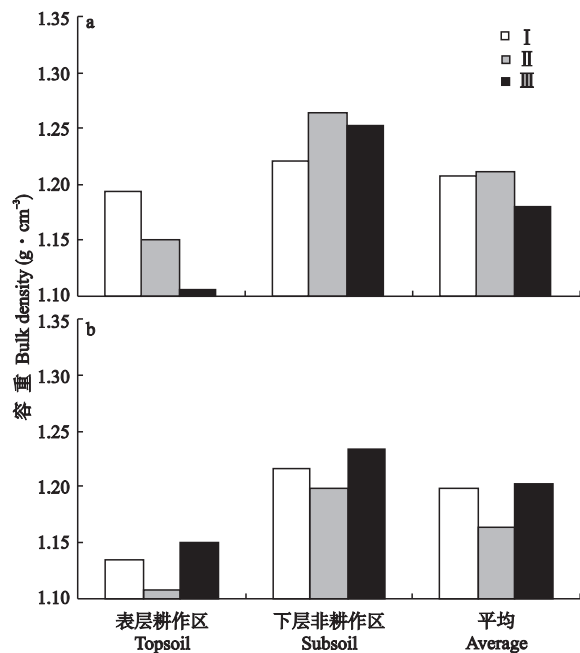


图2 机械作业后土壤容重的变化

Fig. 2 Change of soil bulk density under machinery operation.

和中机械均会对土壤容重产生影响,但作用的效果和规律表现出明显的差异。其中,大机械作业使土壤容重呈明显降低趋势,而中机械作业使土壤容重呈增加趋势(图2)。

与收获作业前相比,大机械收获和深松作业后表层耕作区的土壤容重分别降低了3.5% ($P = 0.0449$)和7.2% ($P = 0.0118$),对土壤结构表现出显著的改良作用。可以认为,除大机械深松作业外,大机械收获作业本身也是对土壤疏松改良的过程,只是作用效果相对较弱。大机械作业对下层非耕作区土壤容重的影响表现出不同程度的累积压实作用,其中,由于深松机械对土壤的扰动范围更深,使得其累积压实作用相对于收获机械弱,收获和深松后土壤容重分别较收获作业前提高了3.7%和2.6%。可以看出,大机械作业易导致土壤中形成压实作用积累层,但其对表层耕作区和下层非耕作区土壤容重的影响都未达显著水平,因此大机械作业对土壤结构的影响仍以改良作用为主。

与大机械作业对土壤容重的影响规律不同,中机械收获作业后表层耕作区土壤容重较收获前降低了2.5%,表现出对土壤结构的改良作用,而整地作业后土壤容重较收获前提高了1.2%,表现出一定的压实作用特征,这主要是由于中机械整地作业的深度达不到马铃薯结实、收获的扰动深度,引起新的土壤板结。中机械作业对下层非耕作区土壤容重的影响较弱,尤其是形成新的板结后,非耕作区的积累

压实作用相对更弱. 因此, 中型机械作业对土壤容重的影响以压实作用为主.

2.3 机械作业对土壤非毛管孔隙度/毛管孔隙度 (NCP/CP) 的影响

NCP/CP 是反映土壤水分物理性质的重要结构性指标, 它的变化会对土壤的水分分配、入渗特征以及蓄水功能产生重要影响. 大机械作业使表层耕作区土壤 NCP/CP 明显增加, 尤其是深松作业后, 较收获作业前相对提高了 556.6% ($P = 0.0369$) (图 3a). 大机械作业对下层非耕作区土壤 NCP/CP 的影响程度相对较弱, 且变化趋势有所不同, 收获作业后土壤 NCP/CP 较收获作业前稍有下降, 可能是由于作业过程对土壤的压实作用降低了非毛管孔隙度或提高了毛管孔隙度所致^[28]. 深松作业后 NCP/CP 表现出增加趋势, 较收获作业前增加了 51.4%, 这主要是由于深翻作业对土壤的扰动深度超过了马铃薯收获作业对土壤的扰动深度, 减弱了压实作用, 增加了非毛管孔隙度所致. 土壤 NCP/CP 的增加, 一方面加强了土壤的渗水能力, 减少了地表径流, 削弱了水土流失的潜在威胁; 另一方面减少了因毛细管作用引起的土壤深层水分蒸发, 既改善了耕作区的气体交换条件, 又达到了蓄水保墒的效果. 因此, 这进一步证明了大机械作业对土壤结构性特征的影响仍以正效应为主.

与大机械相比, 中机械作业对土壤 NCP/CP 的

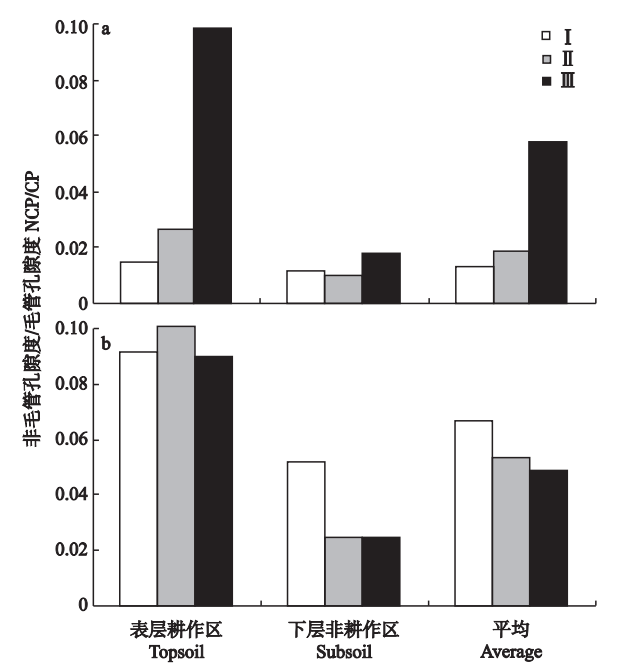


图3 机械作业后 NCP/CP 的变化
Fig. 3 Change of NCP/CP under machinery operation.

影响规律不同, 且影响程度相对较弱, 总体上表现为下降趋势(图 3b). 由于中机械整地作业的深度达不到马铃薯结实、收获作业的扰动深度, 使耕作区土壤 NCP/CP 在收获作业后较收获前上升了 10.5%, 而在整地作业后降低了 2.0%; 中机械作业对下层非耕作区土壤 NCP/CP 的影响表现出明显降低趋势, 使其在收获作业后和整地作业后较收获前分别降低了 52.8% 和 52.3%. 这与其他指标的分析结果相一致, 表明中机械作业对黑土区耕地土壤的影响以压实作用为主, 改良作用较弱.

综上, 大机械突出了保护性耕作的作用, 但保护性机具多是复式重型机械, 长期使用或者在农田含水量高时作业会强化下层非耕作区土壤的积累压实作用^[29-32], 同时增加机械作业的阻力, 进而加剧土壤压实. 尽管大机械深松作业深度可达 50 cm, 能够破除原板结层, 但拓宽耕作区的同时扰动了更深层的土壤, 从保护土壤资源的角度出发, 大机械深松作业也加速了土壤资源的耗竭. 已有研究表明, 深松作业过程中铲尖在板结层下 2.0 ~ 3.0 cm 最佳^[33], 这个深度既可破除板结层, 又能节省燃料, 减少机具磨损. 因此, 要对非耕作区土壤累积压实问题给予高度重视, 大机械作业前要充分了解耕地土壤的水分物理性质及结构特征(如含水率、板结层的深度等), 以便确定适宜的作业深度, 避免长期机械压实引发和加剧水土流失.

3 结 语

1) 机械作业对黑土区耕地土壤结构性特征的影响明显存在正负两方面作用. 其中, 大机械作业表现为以疏松作用为主, 尤其对表层耕作区土壤的改良效果较为显著; 中机械作业由于在耕作区形成了新的土壤板结, 导致土壤性质呈恶化趋势, 表现为以压实作用为主.

2) 大机械作业的土壤硬度在垂直梯度上存在 3 个明显交替变化的层面, 自上而下依次为耕作区 (0 ~ 40 cm)、压实积累区 (41 ~ 60 cm) 和无影响区 (> 60 cm); 中机械作业的土壤硬度在垂直梯度上的变化虽然自上而下也存在耕作区 (0 ~ 30 cm)、压实积累区 (31 ~ 40 cm) 和无影响区 (> 40 cm), 但各层变化的范围相对较浅, 尤其在 17.5 ~ 30 cm 范围内, 形成了新的土壤板结.

3) 大机械作业显著降低了表层耕作区土壤的容重, 收获和深松作业后土壤容重分别较收获前降低了 3.5% ($P = 0.0449$) 和 7.2% ($P = 0.0118$), 而

对下层非耕作区土壤容重的影响呈增加趋势;中机械收获作业对土壤容重的影响不显著,其中,表层耕作区土壤容重增加与形成新的板结有关,下层非耕作区土壤容重增加主要是累积压实作用所致。

4)大机械作业使表层耕作区土壤 NCP/CP 显著增加,尤其是深松作业后较收获作业前相对提高了 556.6%($P=0.0369$),这对增加土壤入渗、减少蒸发、削弱水土流失的潜在威胁极为有利;中机械作业对土壤 NCP/CP 的影响总体上表现为降低趋势,仅在收获作业后使表层耕作区土壤 NCP/CP 较收获作业前相对提高了 10.5%。

参考文献

- [1] Wang E-H (王恩姮), Chen X-W (陈祥伟). Effect of heavy machinery operation on soil three phases and available nutrient in Phaeozem Region. *Journal of Soil and Water Conservation* (水土保持学报), 2007, **21** (4): 98-102 (in Chinese)
- [2] Xia P (夏萍), Ren L (任丽). Changes of soil physical, chemical and ecological factors under mechanized cultivation. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2002, **13** (3): 319-322 (in Chinese)
- [3] Brown HJ, Cruse RM, Erbach DC, et al. Tractive device effects on soil physical properties. *Soil & Tillage Research*, 1992, **22** (1/2): 41-53
- [4] Schäffer B, Attinger W, Schulin R. Compaction of restored soil by heavy agricultural machinery-soil physical and mechanical aspects. *Soil & Tillage Research*, 2007, **93** (1): 28-43
- [5] Kirchmann H, Thorvaldsson G. Challenging targets for future agriculture. *European Journal of Agronomy*, 2000, **12** (3/4): 145-161
- [6] Zhang X-Y (张兴义), Sui Y-Y (隋跃宇). International research trends of soil compaction induced by moving machine during field operations. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery* (农业机械学报), 2005, **36** (6): 122-125 (in Chinese)
- [7] Zhang X-Y (张兴义), Sui Y-Y (隋跃宇). Summarization on the effect of soil compaction on crops. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery* (农业机械学报), 2005, **36** (10): 161-164 (in Chinese)
- [8] Sun Z-Y (孙忠英), Li B-F (李宝筏). Research on the effect of agricultural machinery moving equipment on soil compaction. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery* (农业机械学报), 1998, **29** (3): 172-174 (in Chinese)
- [9] Li R-X (李汝莘), Lin C-H (林成厚), Gao H-W (高焕文), et al. Study on soil compaction induced by small four-wheel machinery. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery* (农业机械学报), 2002, **33** (1): 126-129 (in Chinese)
- [10] Gao A-M (高爱民), Han Z-S (韩正晟), Wu J-F (吴劲锋). Experimental research on alfalfa soil compaction by moving machine. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2007, **23** (9): 101-105 (in Chinese)
- [11] Hamza MA, Anderson WK. Soil compaction in cropping systems: A view of the nature causes and possible solutions. *Soil & Tillage Research*, 2005, **82** (2): 121-145
- [12] Bouwman LA, Arts WBM. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. *Applied Soil Ecology*, 2000, **14** (3): 213-222
- [13] Zhang X-Y (张心昱), Chen L-D (陈利顶), Fu B-J (傅伯杰), et al. Effects of land use and management practice on farm land soil quality in Yanhuai basin of Beijing. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18** (2): 303-309 (in Chinese)
- [14] Chi R-L (迟仁立), Zuo S-Z (左淑珍), Xia P (夏平), et al. Effects of different level compaction on the physicochemical characteristics of soil and crop growth. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2001, **17** (6): 39-43 (in Chinese)
- [15] Håkansson I, Reeder RC. Subsoil compaction by vehicles with high axle load-extent, persistence and crop response. *Soil & Tillage Research*, 1994, **29** (2-3): 277-304
- [16] Liu W-G (刘晚苟), Shan L (山仑), Deng X-P (邓西平). Responses of plant to soil compaction. *Plant Physiology Communication* (植物生理学通讯), 2001, **37** (3): 254-260 (in Chinese)
- [17] Li R-X (李汝莘), Lin C-H (林成厚), Su Y-S (苏元升). Effects on soil physical properties and crop growth by small wheeled machinery compaction before winter wheat sowing. *Journal of China Agricultural University* (中国农业大学学报), 1998, **3** (2): 65-68 (in Chinese)
- [18] Zhang J-L (张家励), Fu W-F (傅潍坊), Ma H (马虹). The soil compactive characteristics and their application in agricultural production. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 1995, **11** (2): 17-20 (in Chinese)
- [19] Mari GR, Ji C-Y (姬长英), Zhou J (周俊). Effect of different types of tractor traffic on soil physical proper-

ties and yield of winter wheat. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering* (农业工程学报), 2007 , **23**(10) : 132-140 (in Chinese)

[20] Jorajuria D , Draghi L. The distribution of soil compaction with depth and the response of a perennial forage crop. *Journal of Agricultural Engineering Research* , 1997 , **66**(4) : 261-265

[21] Taylor JH. Reduction of traffic-induced soil compaction. *Soil & Tillage Research* , 1992 , **24**(4) : 301-302

[22] Wang X-Y (王晓燕) , Gao H-W (高焕文) , Li Y-X (李玉霞) , *et al.* Effect of tractor wheel compaction on runoff and infiltration. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究) , 2000 , **18**(4) : 57-60 (in Chinese)

[23] Yu L (于 磊) , Zhang B (张 柏). The degradation situations of black soil in China and its prevention and counter measures. *Journal of Arid Land Resources and Environment* (干旱区资源与环境) , 2004 , **18**(1) : 99-103 (in Chinese)

[24] Li J (李 军) , Li C-H (李长辉) , Liu X-C (刘喜才) , *et al.* Effects of soil aeration on potato yield and its physiological mechanism. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报) , 2004 , **30**(3) : 279-283 (in Chinese)

[25] Zhang X-Y (张兴义) , Sui Y-Y (隋跃宇) , Meng K (孟 凯). The press-hard of field black-soil and its influence on the yield of grain. *Journal of Agricultural Mechanization Research* (农机化研究) , 2002 , (4) : 64-67 (in Chinese)

[26] Chen L-X (陈立新). The Practice Course of Soil Experiment. Harbin : Northeast Forestry University Press , 2005 (in Chinese)

[27] Li Z-H (李志洪) , Wang S-H (王淑华). Effects of soil bulk density on soil physical properties and wheat growth. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报) , 2000 , **31**(2) : 55-57 (in Chinese)

[28] Richard G , Cousin I , Sillon JF , *et al.* Effect of compaction on the porosity of a silty soil : Influence on unsaturated hydraulic properties. *European Journal of Soil Science* , 2001 , **52**(1) : 49-58

[29] Gao A-M (高爱民) , Han Z-S (韩正晟). Experimental research of soil compaction by wheat reaping machine in no-tillage field. *Journal of Gansu Agricultural University* (甘肃农业大学学报) , 2006 , **41**(6) : 142-145 (in Chinese)

[30] Zheng Z-P (郑昭佩) , Liu Z-X (刘作新). Soil quality and its evaluation. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报) , 2003 , **14**(1) : 131-134 (in Chinese)

[31] Trautner A , Arvidsson J. Subsoil compaction caused by machinery traffic on a Swedish Eutric Cambisol at different soil water contents. *Soil & Tillage Research* , 2003 , **73**(1-2) : 107-118

[32] Mosaddeghi MR , Hajabbasi MA , Hemmat A , *et al.* Soil compactibility as affected by soil moisture content and farmyard manure in central Iran. *Soil & Tillage Research* , 2000 , **55**(1/2) : 87-97

[33] Ma Y-M (马易名) , Zeng P (曾 平) , Guo Q-J (郭庆九) , *et al.* An operation method of breaking plow pan in autumn ridging. *Modernizing Agriculture* (现代化农业) , 1995(8) : 11 (in Chinese)

作者简介 王恩姮 ,女 ,1982 年生 ,硕士研究生.主要从事土壤侵蚀和水土保持研究 ,发表论文 6 篇. E-mail : erxin222@163. com

责任编辑 张凤丽
