植物营养与肥料学报 2006,12(4):559 - 564
Plant Nutrition and Fertilizer Science

土壤紧实胁迫对黄瓜生长、产量及养分吸收的影响

孙 艳[1,2], 王益权[2], 冯嘉玥[1], 王 益[2], 杨 梅[1], 徐 雷[1]
(1 西北农林科技大学园艺学院,陕西杨凌 712100; 2 西北农林科技大学资源与环境学院,陕西杨凌 712100)

摘要: 用容重分别为 1.2、1.4 和 1.6 g/cm^3 的土壤进行盆栽试验,研究了土壤紧实度对黄瓜生长、产量及养分吸收的影响。结果表明,当土壤紧实度增大时,黄瓜秧苗的株高在定植后的 15 d 后受到显著抑制; 第 4 叶的叶宽和叶长在定植后 9 ~17 d 内增加; 茎粗则是在稍紧的土壤中(R 1.4)最大,过紧的土壤中(R 1.6)最小; 根系伸长生长受阻,干物质质量及活力显著下降,根冠比降低; 生物学产量、经济产量、经济系数的变化情况及植株对氮、磷、钾吸收量的变化与茎粗的变化趋势相同。在本试验条件下,容重为 1.2 g/cm^{3}的土壤利于株高及根系的生长,容重 1.4 g/cm^{3}的土壤则利于茎粗、根系养分的吸收及产量的增加。

关键词: 黄瓜; 土壤紧实度; 产量; 养分吸收
中图分类号: S642.2; S152.5　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1008-505X(2006)04-0559-06

Effects of soil compaction stress on the growth, yield and nutrient uptake of cucumber

SUN Yan[1,2], WANG Yi-quan[2], FENG Jia-yue[1], WANG Yi[2], YANG Mei[1], XU Lei[1]
(*1 College of Hort. Northwest Agric. and For. Univ., Yangling 712100, China;*
2 College of Resour. and Envir. Sci., Northwest Agric. and For. Univ., Yangling 712100, China)

Abstract: A pot culture experiment was conducted to investigate the effects of soil with different bulk densities(1.2、1.4 and 1.6 g/cm^3)on the growth, yield and nutrient uptake of cucumber plants. The results showed that the increase of soil compaction depressed plant height of cucumber seedling significantly after planting 15 days; the width and length of the forth leaf after fix planting 9 ~17 days increased; stem thickness of plants, biological yield, economic yield, economic coefficient and total absorptive capacity of N, P and K were the largest in the slightly compacted soil (R1.4), while those parameters are the lowest in the most compacted soil (R1.6). Soil with 1.2 g/cm^3 bulk density was most favorable for the plant height and root growth of cucumber plants, and soil with 1.4 g/cm^3 bulk density was most favorable for the stem thickness, yield and nutrient uptake of cucumber plants under this experiment conditions.

Key words: cucumber; soil compaction; yield; nutrient uptake

土壤紧实度(Soil compaction)是土壤最重要的物理性质之一,它和土壤质地共同影响着土壤的通气性、温度、水分及耕作性质,进一步影响着土壤中生物的数量与活性、土壤中养分的转化及植物对养分的吸收等状况。不同的土壤类型由于其形成的自然条件、地理条件及历史条件的不同,其有机质含量及物理性质和化学性质的不同,导致了其本身紧实度的不同。重型农业机械和其它耕作措施等人为因素及土壤干旱等也都会使土壤紧实度增大,从而影响到土壤中水、肥、气、热等肥力因子及其这些因子之间的相互协调,进而对作物的生长发育及其产量产生影响。土壤紧实对作物生产发育的影响已成为干旱地区农业生产尤其是设施种植中重要的问题之一。许多不同紧实度的土壤对农作物的影响研究认为,土壤紧实度的变化影响了土壤中水肥气热等因素,使作物根系生长受阻,进而影响地上部生长及产量[1-7]。

近年来,菜田土壤尤其是设施土壤质量的研究

收稿日期: 2005-05-13　　**修改稿收到日期**: 2005-08-08
作者简介: 孙艳(1964—),女,陕西泾阳人,博士研究生,教授,主要从事黄瓜栽培生理的研究。

备受关注。大量的调查研究表明,随着种植时间的延长,设施土壤的质量显著下降。由于人工田间作业时频繁踩踏使土壤结构严重破坏;频繁灌水引起的团粒结构破坏及缺少机械深耕使耕层变浅;盐渍化、酸化及养分失衡等化学性质的恶化使土壤缓冲性能下降,引起土壤板结等,导致土壤容重增大,紧实度增大,通透性变差[8]。张国红等[9]研究发现,番茄秧苗在高容重土壤中生长发育迟缓,产量和品质下降,果实风味品质变差。番茄和黄瓜是设施栽培中的两大类主要蔬菜,黄瓜秧苗柔嫩,对土壤的要求较高,反应也敏感。因此,研究土壤容重对黄瓜生长、产量及养分吸收等方面的影响,可为设施土壤的可持续利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2004年3~6月在西北农林科技大学园艺试验场进行。盆栽用土取自试验地的表土(塿土),经风干过筛后(风干土含水量为4.02%)每kg土混施尿素0.5 g,过磷酸钙(含P_2O_5 16 %)0.67 g。试验设3个土壤紧实度处理,即分别为容重1.2、1.4和1.6 g/cm^3(当地表层土壤的容重约为1.2 g/cm^3),分别用R1.2、R1.4、R1.6表示。各处理7次重复。根据土壤紧实度要求、盆钵体积及土壤含水量计算出每个处理所需的土壤量依次为7.84、9.15和10.45 kg,然后装盆(必要时采用木夯锤击)。陶瓷盆内径20 cm,内高24.5 cm。每个处理土壤装至离盆边4.5 cm处。每盆栽黄瓜1株。

供试的黄瓜品种为津优1号。2004年3月2日在日光温室内用9 cm×9 cm的营养钵育苗。4月20日带营养土定植。无明显的缓苗过程。在试验期间,根据试验条件下各处理的田间持水量,用差重法确定灌水量,以保证土壤含水量维持在田间持水量的100%~80%之间。适量施叶面肥,其它田间管理措施均保持一致。5月19日第1次采收黄瓜,6月16日拉秧。

1.2 测定项目与方法

根系活力用TTC法测定[10]。干物质质量采用烘干一称重法。用10—20 cm土层内10 cm×10 cm土柱中根系干物质质量表示根系的伸长生长,测定时采用10 cm直径的土钻取10—20 cm土层内的土柱10 cm,洗根,烘干称重。根系活力、根系干物质质量及根系的伸长生长均是3次重复(盆)的平均值。

株高是土表至心叶的高度。茎粗用第2片叶下2 cm处的粗度表示。叶宽和叶长以第4片叶(从下向上)的最大叶宽和叶长表示。生长量及产量是7株测定值的平均值。植株养分吸收量是所有植株混合样品3次重复的平均值,采用H_2SO_4—H_2O_2消煮,自动定氮仪测氮、钒钼黄比色法测磷、火焰光度计法测钾。

2 结果与分析

2.1 土壤紧实胁迫对黄瓜秧苗地上部生长的影响

2.1.1 株高 图1显示,在定植后的7~15 d内,不同紧实度土壤中黄瓜秧苗的高度差异不大,这个时期秧苗的地上部对土壤紧实胁迫的反应不敏感。15 d后,株高之间的差异明显,R1.2 > R1.4 > R1.6,且R1.2与R1.4之间的差异小于R1.4与R1.6的差异。表明土壤紧实度的增加对黄瓜秧苗株高的增加有抑制作用,这种抑制作用在紧实度增加较大时(R1.6)十分显著。

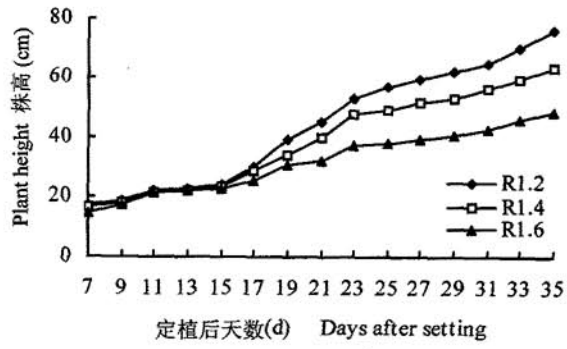

图1 土壤紧实胁迫对黄瓜秧苗株高的影响

Fig.1 Effect of soil compaction stress on height of cucumber plants

2.1.2 茎粗 在定植后的18 d以后,土壤紧实程度对黄瓜秧苗的茎粗有所影响,表现为R1.4 > R1.2 > R1.6;且R1.4与R1.2之间的差异较小(图2)。表明在常态紧实度(R1.2)的基础上使土壤紧实(R1.4),虽可抑制株高,但在一定程度上增加了茎粗;继续紧实土壤(R1.6),对株高和茎粗均产生明显的抑制作用。

2.1.3 叶宽和叶长 从图3、图4可看出,在定植后的9~17 d内,不同紧实度土壤中黄瓜第4叶叶宽和叶长的增长趋势相同,均表现为R1.6 > R1.4 > R1.2,这与株高的变化趋势完全相反。17 d后,第4片叶成熟,长和宽基本稳定。

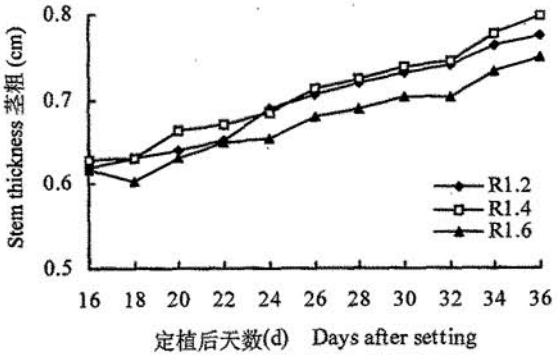

图2　土壤紧实胁迫对黄瓜秧苗茎粗的影响

Fig.2　Effect of soil compaction stress on stem thickness of cucumber plants

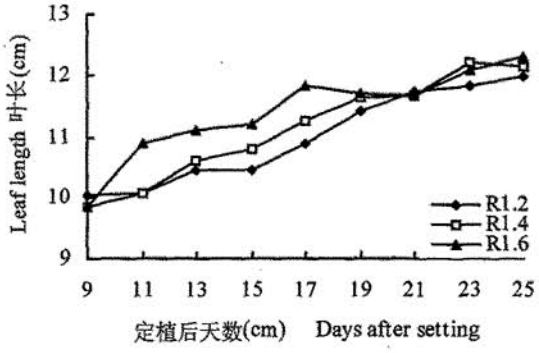

图4　土壤紧实胁迫对黄瓜叶长的影响

Fig.4　Effect of soil compaction stress on length of cucumber leaf

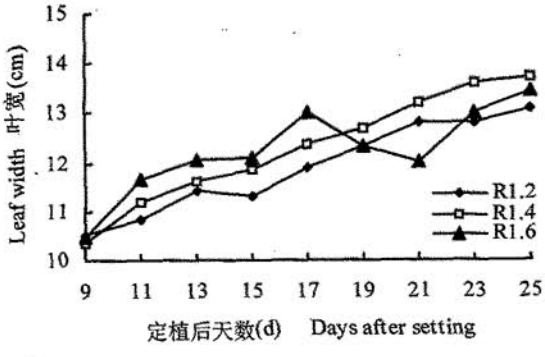

图3　土壤紧实胁迫对黄瓜叶宽的影响

Fig.3　Effect of soil compaction stress on width of cucumber leaf

2.2　土壤紧实胁迫对黄瓜根系的影响

2.2.1　根系生长及根系活力　当土壤紧实度增大后根系的伸长生长受阻。10—20 cm 土层内 10 cm×10 cm 土柱中根系干物质质量下降了 35.05%～73.20%；根系活力下降了 49.85%～64.14%（表1）。该土柱内根系的干物质质量与土壤容重之间呈显著的负相关关系，$r = -0.9997^{*}$（$n = 3$）。伸长生长受阻导致根系变小，整个根系的干物质质量显著减小，减幅达 32.58%～37.08%。根系干物质质量及根系活力的大小顺序为：R1.2 > R1.4 > R1.6，与株高的变化规律相同。

2.2.2　根冠比　根冠比是衡量地下部与地上部是否协调的一个重要指标。表1看出，R1.2 处理的根冠比最大，说明根系与地上部的生长相对比较协调。R1.6 的次之，这是土壤容重过大而对根系及地上部均产生抑制使二者保持相对较低的水平所致。但从所有处理来看，土壤紧实胁迫降低了根冠比。

表1　土壤紧实胁迫对黄瓜根系的影响

Table 1　Effects of soil compaction stress on roots of cucumber plants

处理 Treatment	根系干物质质量 Dry weight of root		根系活力 Activity of root [g/(g·h)]	地上部干物质质量 Dry weight of shoot (g/plant)	根冠比 Root/Shoot
	土柱[1)](g) Soil column	每株(g) Per plant			
R1.2	0.097 A	5.34 a	8.561×10^{-3} A	19.94 a	0.27
R1.4	0.063 B	3.60 b	4.293×10^{-3} B	20.81 a	0.12
R1.6	0.026 C	3.36 b	3.070×10^{-3} C	16.19 b	0.21

注(Note)：1)土柱系指 10—20cm 土层中的 10cm×10cm 土柱样. Soil column is a 10cm×10cm column sampled in 10—20cm layer.

不同大小写字母表示差异分别达 1% 和 5% 显著水平，下同。Different capital and small letters mean significant at 1% and 5% levels, respectively, same as follows.

2.3　土壤紧实胁迫对黄瓜产量的影响

表2显示，3个处理中以 R1.4 的生物学产量、经济产量及经济系数最高，但其产量与 R1.2 无显著差异，却显著高于 R1.6。R1.4 的生物学产量及经济产量分别比 R1.6 高 22.83% 和 32.07%。表明土壤容重适当增加，可提高黄瓜的产量及经济系数，而土壤过紧则会降低产量及经济系数。可能是因为适当地压紧土壤，有利于该处理（R1.4）的黄瓜根系与土壤接触紧密，提高水分及养分的吸收能力（见表3），

表2 土壤紧实胁迫对黄瓜产量的影响

Table 2 Effect of soil compaction stress on yield of cucumber

处理 Treatment	生物学产量 Biological yield (g/plant)	经济产量 Economic yield (g/plant)	经济系数[1)] Economic coefficient
R1.2	139.83 a	313.7 a	2.24
R1.4	145.38 a	345.5 a	2.38
R1.6	118.61 b	261.6 b	2.21

1) 经济系数 = 经济产量/生物学产量

Economic coefficient = Economic yield/Biological yield

使黄瓜秧苗的茎粗、叶长及叶宽均保持相对较高的水平。

2.4 土壤紧实胁迫对黄瓜植株养分吸收的影响

不同紧实度土壤中黄瓜秧苗对氮、磷、钾养分的吸收量以R1.4处理的最高，其氮、磷、钾的吸收量为114.38、81.04、118.08 mg/株，分别比R1.2处理增加2.09%、22.12%、11.68%；而R1.6处理，除磷外，其氮、钾吸收量则显著低于R1.2，降幅分别为21.74%、12.72%(表3)。从单株对氮、磷、钾养分的吸收总量(氮+磷+钾)看，R1.2、R1.4、R1.6处理分别为284.13、313.50、260.74 mg/plant，大小顺序为R1.4>R1.2>R1.6，这与茎粗及产量的趋势相同。

表3 土壤紧实胁迫对黄瓜植株养分吸收的影响 (mg/plant)

Table 3 Effect of soil compaction stress on nutrient absorption of cucumber plants

处理 Treatment	N			P			K		
	茎 Stem	叶 Leaf	总和 Total	茎 Stem	叶 Leaf	总和 Total	茎 Stem	叶 Leaf	总和 Total
R1.2	18.10	93.94	112.04 a	12.68	53.68	66.36 b	43.10	62.63	105.73 b
R1.4	21.67	92.71	114.38 a	16.75	64.29	81.04 a	58.25	59.83	118.08 a
R1.6	14.77	72.91	87.68 b	15.29	65.49	80.78 a	35.64	56.64	92.28 c

3 讨论

据报道，玉米株高与土壤容重之间呈极显著的负相关关系[11]；但有的研究认为，高容重土壤使玉米和葵花叶片扩展速度降低并缩小了最终叶面积[2,12]。本试验结果看出，随着土壤紧实度的增加，黄瓜秧苗株高的增长速度在定植后的15 d后受到抑制，第4叶的叶长及叶宽在定植后的9～17 d内增大，而茎粗在较紧实的土壤中(R1.4)最大，过紧实的土壤中(R1.6)最小。这些结果与有关报道有相同之处，也有不同之处。这可能与植物的种类有关[2]。

黄瓜是一种浅根性蔬菜，其根系主要分布在0—20 cm的土层中，0—10 cm土层内的根系更为密集，对土壤的疏松程度、通气情况及水分条件的要求较高。本试验中，土壤紧实胁迫使黄瓜根系的伸长生长受阻，根系变小，干物质质量减小，活力下降。土壤紧实度增大后，其机械阻力增加，根系的伸长受阻，分生细胞分裂速度减慢，细胞长度缩短，导致根的质量减小[13-14]。Passioura[15]认为，土壤机械阻力引发根部改变激素水平，从而调节了根部伸长的速度。而黄瓜根系活力的显著下降可能与土壤紧实度的增加使土壤中的孔隙变小、板结程度提高，土壤中的氧气浓度降低使根系的呼吸受到抑制有关。

根系的大小及活力的高低直接影响着根系对水分及养分的吸收。Passioura[15]认为，土壤容重增大，根土接触紧密，使更多水分和营养元素进入根区，从而提高养分吸收能力。本试验结果表明，土壤紧实度增大，根系活力下降，而氮、钾吸收量和氮、磷、钾的吸收总量则是在较紧实的土壤(R1.4)中最大，疏松的土壤中(R1.2)次之，过紧实的土壤中(R1.6)最小；而磷的吸收量则是过紧实的土壤中(R1.6)最大，疏松的土壤中(R1.2)最小。Evans[16]等也发现，生长在低磷土壤中的玉米，不扰动土壤，玉米生长很好；犁耕过的土壤，玉米显示出严重的缺磷症。这是因为生长在紧实土壤中的作物根系变短变粗，其与土壤的接触变得更加紧密，同时根系分泌大量的粘性物质使根土紧密相连，这种紧密的接触可以有效地提高根系对土壤中难溶性营养物质的吸收[17]。另外，根系分泌物中含有的有机酸也可促进难溶性养分的溶解，使其吸收量增加。本试验所采用的土壤为石灰性土壤，其中磷的溶解性较小，紧实土壤后，黄瓜根系对其的吸收量增加。“镇压”措施可提高玉米不同生育阶段的干鲜重及产量，这不仅在于保水，养分吸收能力及吸收量的增加也是重要的因素[18]。关于不同紧实度土壤中，不同生长时期的黄瓜根系活力与养分吸收量之间的关系，还有待进一

步的研究。

Ashraf Tubeileh 等[19]以玉米为试验材料，用^{14}C标记——脉冲技术研究了土壤紧实胁迫对碳素同化及光合产物分配的影响，他们认为：紧实土壤阻碍根系的伸长及叶片的展开率，降低植物的株高、地上部及根系的干物质质量，减小叶面积，其原因之一是土壤紧实度的增加导致了碳素同化速率的降低，特别是玉米生长的初期阶段；原因之二是土壤紧实度的增加导致了碳素向土壤及土壤微生物中的输入量，碳素的这种转移是通过根系分泌的一些物质而流失的，植物体内碳素的流失使土壤中的微生物数量增加，从而降低了根冠比。本试验结果也看出，土壤紧实胁迫可降低黄瓜的根冠比，但 R1.4 处理比 R1.6 的低，可能与 R1.4 处理的地上部质量较高有关。

有关土壤紧实胁迫对作物产量影响的研究结果不尽相同，可能与作物的种类及试验方式有很大关系。Ludlow 和 Stirzaker[20]认为，虽然早期的营养生长减小(亦即生物学产量减小)，但经济产量并未受到影响；张国红等[8]及贺明荣等[21]的研究表明，在紧实度大的土壤中，作物的产量则下降；何奇镜等[22]研究了 20 年少耕和连耕对玉米产量的影响，认为少耕比连耕可增产 4%～6.7%。而本试验却发现，在稍紧的土壤中(R1.4)，黄瓜的产量及经济系数最大，过紧的土壤中(R1.6)，二者均最小，这与黄瓜根系在稍紧的土壤中(R1.4)对氮、磷、钾三元素的吸收量最高，在过紧实的土壤中(R1.6)吸收量最小有关。本结果与宋家祥等[23]的结论相同。

参 考 文 献：

[1] 刘晚苟，山仑，邓西平．不同土壤水分条件下土壤容重对玉米根系生长的影响[J]．西北植物学报，2002，22(4)：831-838.
Liu W G, Shan L, Deng X P. Effects of soil bulk density on the growth of maize root system under different water condition[J]. Acta Bot. Boreal. Occident. Sin., 2002, 22(4): 831-838.

[2] 刘晚苟，山仑．不同土壤水分条件下容重对玉米生长的影响[J]．应用生态学报，2003，14(11)：1906-1910.
Liu W G, Shan L. Effects of soil bulk density on maize growth under different water regimes[J]. Chinese J. of Applied Ecology, 2003, 14(11): 1906-1910.

[3] 李志洪，王淑华．土壤容重对土壤物理性状和小麦生长的影响[J]．土壤通报，2000，31(2)：55-57.
Li Z H, Wang S H. Effects of soil bulk density on the physic characters of soil and the growth of wheat[J]. Chinese J. of Soil Sci., 2000, 31(2): 55-57.

[4] 宋家祥，庄恒扬，陈后庆．不同土壤紧实度对棉花根系生长的影响[J]．作物学报，1997，23(6)：719-726.
Song J X, Zhuang H Y, Chen H Q. Effect of soil compaction on growth of cotton[J]. Acta Agronomica Sinica, 1997, 23(6): 719-726.

[5] 南志标，赵红洋，聂斌．黄土高原土壤紧实度对蚕豆生长的影响[J]．应用生态学报，2002，13(8)：935-938.
Nan Z B, Zhao H Y, Nie B. Effect of soil compaction on Vicia Faba of growth in the Loess Plateau[J]. Chinese J. of Applied Ecology, 2002, 13(8): 935-938.

[6] 吴思政，柏文富，禹霖，等．土壤容重与杏生长和结果的关系[J]．经济林研究，2001，19(4)：20-22.
Wu S Z, Bo W F, Yu L *et al*. Correlation of soil bulk density to the growth and fruiting performance of common apricot Prunus armeniaca[J]. Economic Forest Researches, 2001, 19(4): 20-22.

[7] 张玉屏，朱德峰，林贤青．田间条件下水稻根系分布及其与土壤容重的关系[J]．中国水稻科学，2003，17(2)：141-144.
Zhang Y P, Zhu D F, Lin X Q. Roots distribution of rice in field and its relation to soil bulk density[J]. Chinese J. Rice Sci., 2003, 17(2): 141-144.

[8] 梁银丽，陈志杰．设施蔬菜土壤连作障碍原因和预防措施[J]．西北园艺，2004(7)：4-5.
Liang Y L, Chen Z J. The reasons and preventive measures of the problems on soil in the system of continuous planting vegetable and protected cultivation[J]. Northwest Horticulture, 2004(7): 4-5.

[9] 张国红，张振贤，梁勇，曹之富．土壤紧实度对温室番茄生长发育、产量及品质的影响[J]．中国生态农业学报，2004，12(3)：65-67.
Zhang G H, Zhang Z Y, Liang Y, Cao Z F. Effect of compaction on tomato growth, development, yield and quality in solar greenhouse[J]. Chinese J. of Eco-Agriculture, 2004, 12(3): 65-67.

[10] 王晓琴，袁继超，柯永培，等．渗透胁迫对玉米幼苗根系活力和 K^+ 吸收动力学特征的影响[J]．植物营养与肥料学报，2005，11(1)：027-032.
Wang X Q, Yuan J C, Ke Y P *et al*. Effects of osmotic-stress on root vigor and kinetics parameters of K^+ uptake of maize seedling[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(1): 027-032.

[11] 郭俊伟．土壤容重对玉米生长的影响[J]．陕西农业科学，1996(4)：25-26.
Guo J W. Effects of soil compaction on the growth of maize[J]. Shaanxi J. of Agric. Sci., 1996(4): 25-26.

[12] Andrade A, Wolf D W, Fereres E. Leaf expansion, photosynthesis, and water relations of sunflower plants growth on compacted soil[J]. Plant and Soil, 1993, 149: 175-184.

[13] 黄细喜．土壤紧实度及层次对小麦生长的影响[J]．土壤学报，1988，25(1)：59-65.
Huang X X. Effects of soil compaction and soil layer on the growth of wheat[J]. Acta Pedological Sinica, 1988, 25(1): 59-65.

[14] Bengough A G, Mullins C E. The resistance experienced by roots growing in a pressurized cell-a reappraisal[J]. Plant and Soil, 1990, 123: 73-82.

[15] Passioura J B. Soil structure and plant growth[J]. Aust. J. Soil Res., 1991, 123: 73-82.

[16] Evans D G, Miller M H. Vesicular-arbscular mycorrhizas and the soil-disturbance-induced reduction of nutrient absorption in maize [J]. New Phytol., 1988, 110: 67-74.

[17] Atwell B J. The effect of soil compaction on wheat during early tillering Ⅰ. Growth, development and root structure[J]. New Phytol., 1990, 115: 29-35.

[18] 于希臣,孙占祥,郑家明,等.不同镇压方式对玉米生长发育及产量的影响[J].杂粮作物,2002,22(5): 271-273.
Yu X C, Sun Z X, Zheng J M *et al*. Effects of difference pressing types on growth development and yield of maize[J]. Rain Fed Crops, 2002, 22(5): 271-273.

[19] Ashraf Tubeileh, Virginie Groleau-Renaud, Sylvain Plantureux, Armand Guckert. Effect of soil compaction on photosynthesis and carbon partitioning within a maize-soil system[J]. Soil and Tillage Research, 2003, 71: 151-161.

[20] 刘晚苟,山仑,邓西平.植物对土壤紧实度的反应[J].植物生理学通讯,2001,37(3): 254-260.
Liu W G, Shan L, Deng X P. Responses of plant to soil compaction [J]. Plant Physiol. Commum, 2001, 37(3): 254-260.

[21] 贺明荣,王振林.土壤紧实度变化对小麦子粒产量和品质的影响[J].西北植物学报,2004,24(4): 649-654.
He M R, Wang Z L. Effects of soil compaction on grain yield and quality of wheat[J]. Acta Bot. Boreal. Occident. Sin., 2004, 24 (4): 649-654.

[22] 何奇镜,佟培生,边少锋.长期少耕对玉米产量和土壤生态环境的影响(1983-2002)[J].玉米科学,2004,12(增刊): 99-102, 104.
He Q J, Tong P S, Bian S F. The influence of long-term tillage on corn yield and soil ecological surroundings (1983-2002)[J]. Journa lof Maize Sciences, 2004, 12 (suppl.): 99-102, 104.

[23] 宋家祥,刘世平,马刚,等.土壤紧实度对棉花产量的影响[J].江苏农学院学报,1997,18(2): 7-10.
Song J X, Liu S P, Ma G *et al*. Effect of soil compaction on cotton yield[J]. Journal of Jiangsu Agricultural college, 1997, 18(2): 7-10.