

# 土壤紧实度及层次对小麦生长的影响\*

黄 细 喜

(江 苏 农 学 院)

## 摘 要

本试验结果表明: 小麦产量与土壤容重呈二次曲线关系, 最高产量出现在容重为 1.23—1.31g/cm<sup>3</sup> 之间, 当容重大于 1.4g/cm<sup>3</sup>、穿透阻力大于 15kg/cm<sup>2</sup> 时, 根系生长开始受阻; 容重大于 1.5g/cm<sup>3</sup>、阻力大于 25kg/cm<sup>2</sup> 时, 则严重地阻碍了根系生长。因此, 当土壤容重未超过 1.4g/cm<sup>3</sup>、穿透阻力小于 15kg/cm<sup>2</sup> 时, 即使不进行耕翻, 实行少免耕种植, 土壤强度也不至于影响小麦根系的生长。土壤养分在土体中呈上肥下瘦的垂直 T 型分布, 这与作物根系上多下少的生长特性是一致的。不翻乱土层, 保持原状土的肥力分布状态, 有利于协调土壤与作物对养分的供求关系, 为作物早发、壮苗、稳长提供了良好的土壤条件。

土壤紧实度是土壤重要的物理性状, 土壤养分在土体中的分布状态, 是作物重要的营养条件, 作物生长要求土壤具有适宜的紧实度和肥沃的土层。因此, 研究不同土壤条件下的作物生长最佳紧实度的范围和层次肥力的分布, 对改革耕作方法, 建立与种植制度相适应的用养结合, 低耗高效的土壤耕作新体系具有重要意义。

## 一、试验方法

供试土壤为本院实验农场砂壤土, 物理性粘粒含量 9.9%, 0—30cm 土层的有机质含量为 1.25%, 全氮 0.062%, 水解性氮 7.29mg/100g 土, 速效磷 27.7mg/100g 土, 速效钾 24.4mg/100g 土, pH7.6, 试验分两部分: 试验 I 是按土层 0—7, 7—14, 14—30cm 取土, 分别拌匀并通过 2mm 筛孔, 人为制成 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 和 1.6g/cm<sup>3</sup> 7 级不同的土壤容重, 重复 4 次, 品种为鉴 30, 每盆种麦 4 棵, 不施肥, 测定整个生育期的主要农艺性状和根系的活力。试验 II 是观察根系对不同土壤紧实度的趋向性, 特设计了一玻璃缸内两种容重处理, 分 1.0 和 1.2, 1.1 和 1.3, 1.2 和 1.4g/cm<sup>3</sup> 三组, 在两种不同容重的纵界面上种麦三棵, 四周蒙上黑布, 定期观察根系生长状况, 于拔节期沿界面切开, 把全部土取出冲洗根系, 测定根量的分配比例。

## 二、结果与分析

### (一) 对植株生长和产量形成的影响

土壤紧实度与株高的关系, 由二年小麦盆栽试验结果表明 (图 1), 在苗期有极显著的

\* 本文承中国科学院南京土壤研究所赵成斋副研究员、江苏农学院邵达三副教授提出宝贵意见; 参加工作的还有农学系 1980 届毕业生许仁良、季林华; 1981 届胡敦成、潘志良等同学, 在此一并致谢。

线性正相关,拔节期有显著的二次曲线关系,但到抽穗期,容重与株高的关系已不明显。容重与分蘖有极显著的负相关,即单株分蘖数随容重的增加而减少,但分蘖成穗率却显著地

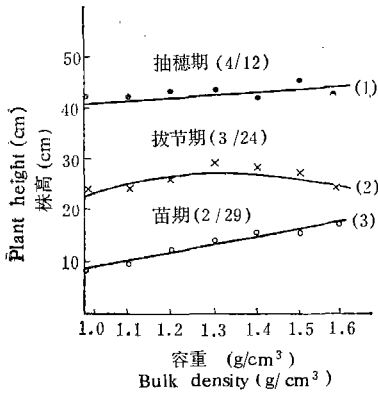


图1 土壤容重与小麦株高的关系

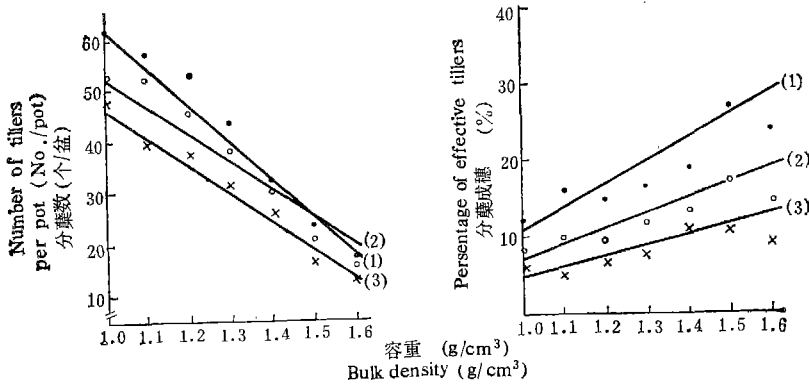
Fig. 1 Effect of bulk density on the height of wheat plants

- 注: (1)  $y = 42.625 + 1.0357x (r = 0.1744)$   
 (2)  $y = 40.686 + 103.238x - 39.048x^2 (r = 0.8290^*)$   
 (3)  $y = 4.1607 + 13.6071x (r = 0.9837^{**})$

随容重的增加而提高(图2)。容重小的(1.0, 1.1g/cm<sup>3</sup>)前虽分蘖多,但死亡快,成穗率低,而容重大的(1.5—1.6g/cm<sup>3</sup>)虽成穗率高,但由于前期分蘖少,穗数不足,故最终容重与产量呈显著的二次曲线关系,最高产量出现在容重1.23—1.31g/cm<sup>3</sup>之间(图3)。说明土壤过松过紧都不利于作物生长和产量的形成,小麦生长需要一个适宜的土壤紧实度。从图还可看出,不论分蘖数、分蘖成穗率和产量均以上层土为最佳,下层土最差,一般随土层的加深而变劣,第二、第三层比第一层分别减产15.2%和35.6%,这与土壤养分的层次分析结果是一致的(表1)。

(二) 对根系生长的影响

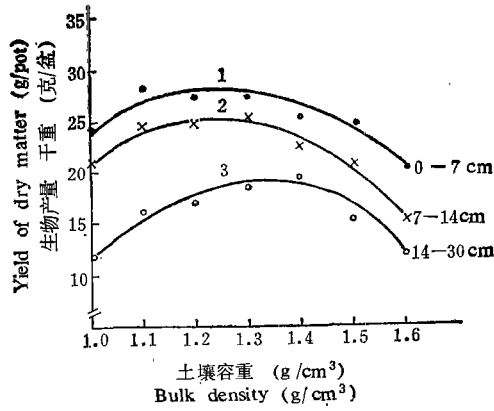
试验 I 和试验 II 都表明疏松土壤环境能促进根系生长,根据苗期测定,种子根和分



- 注 (1)  $y_1 = 139.401 - 75.8x (r = -0.9717^{**})$  (1)  $y_1 = -14.73 + 25.82x (r = 0.8863^*)$   
 (2)  $y_2 = 114.35 - 59.714x (r = -0.8917^{**})$  (2)  $y_2 = -10.04 + 17.35x (r = 0.9432^{**})$   
 (3)  $y_3 = 107.741 - 58.84x (r = -0.9912^{**})$  (3)  $y_3 = -5.87 + 11.02x (r = 0.8630^*)$

图2 土壤层次及层次容重对分蘖及分蘖成穗的影响  
 Fig. 2 Effect of bulk density on wheat tillers

枝根都随容重的增加而减少,似乎容重 1.2g/cm<sup>3</sup> 是一明显分界线,1.0、1.1、1.2g/cm<sup>3</sup> 的3个容重平均单株种子根 4.1 条,分枝根 41.9 条。比 1.3、1.4、1.5g/cm<sup>3</sup> 3个容重的平均单株种子根、分枝根分别增加 12% 和 25.8%。试验 II 中的 1.0 和 1.2g/cm<sup>3</sup>, 1.1 和 1.3g/



注: (1)  $y_1 = -104.878 + 213.963x - 84.607x^2$   $r_1^2 = 0.9127^*$   
 (2)  $y_2 = -122.756 + 242.863x - 98.298x^2$   $r_2^2 = 0.9208^*$   
 (3)  $y_3 = 173.236 - 292.340x - 111.161x^2$   $r_3^2 = 0.8923^*$

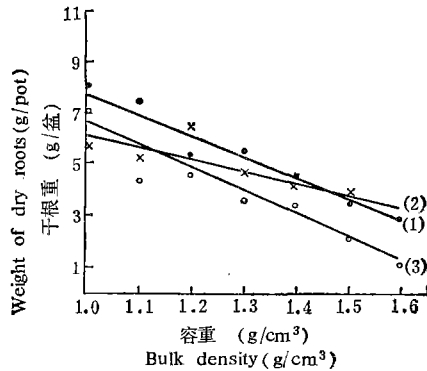
图 3 土壤层次及层次容重与产量的关系

Fig. 3 Effect of soil horizon and its bulk density on yield

表 1 不同土壤层次的养分布

Table 1 Nutrient contents in different soil layers

土壤深度 (cm) Depth	pH	有机质 (%) O. M.	全氮 (%) Total-N	水解性氮 (mg/100g soil) Hydrolyzable N	速效磷 (mg/100g soil) Available P	速效钾 (mg/100g soil) Available K
0-7	7.66	1.54	0.082	9.30	28.0	28.6
7-14	7.74	1.34	0.065	7.23	27.3	25.0
14-30	8.01	0.88	0.040	5.34	27.8	19.7



注: (1)  $y_1 = 16.071 - 8.280x$   $r = -0.9753^{**}$  (0-7cm)  
 (2)  $y_2 = 11.385 - 5.196x$   $r = -0.8192^*$  (7-14cm)  
 (3)  $y_3 = 15.266 - 8.679x$   $r = -0.8716^*$  (14-30cm)

图 4 土壤层次及容重对根系生长的影响

Fig. 4 Effect of soil horizon and bulk density on the growth of wheat roots

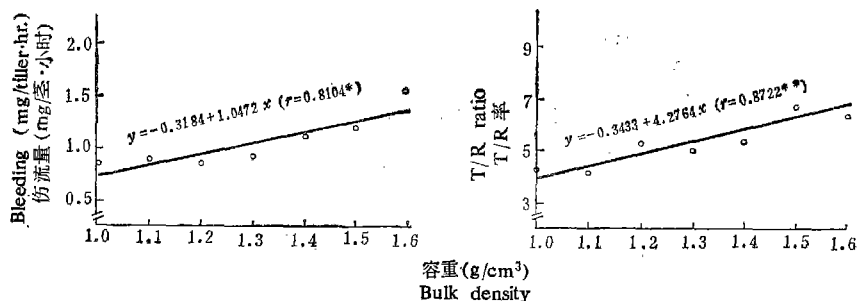


图 5 土壤容重与根活力和冠根比(T/R)的关系

Fig. 5 The relation between bulk density root vitality and T/R ratio

cm<sup>3</sup>, 1.2 和 1.4g/cm<sup>3</sup> 三组不同紧实度盆栽结果,在拔节期的根系分配比例分别为 55.2% 和 44.8%, 57.6% 和 42.4%, 66.7% 和 33.3%。说明土松的一边根量多且生长快,容重的级差都是 0.2,根系的分配级差随容重的增大而增大。说明根系生长具有明显的趋松性。

试验还表明,根量随容重的增加而减少,呈明显的负相关(图 4)。若以伤流量表示根的活力和 T/R 率(即地上部冠与根之比率),都显示随容重的增加而增加(图 5),据 2 年的测定,形成产量最有利的 T/R 率,苗期为 2—2.4,抽穗成熟期 4.43—4.98 之间。当适宜的根系建成后,提高根活力对增产具有重要意义。

表 2 土壤不同容重和穿透阻力对小麦根系及生物产量的影响

Table 2 Effects of the bulk density and penetration resistance of sandy loam on the root and biomass of wheat

土壤容重 (g/cm <sup>3</sup> ) Bulk density	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	回归方程 Regression equation
土壤穿透阻力 (kg/cm <sup>2</sup> ) Piercing resistance	4.83	5.60	7.30	12.80	15.00	25.40	$y = 0.1467e^{3.3722x}$
根干重 (g/pot) Dry wt. of roots	3.30	3.17	2.91	2.73	2.23	1.35	$y = 7.17 - 3.64x$ $r = -0.9404^*$
生物产量 (g/pot) Biomass	8.40	9.41	12.10	14.15	12.34	7.38	$y = -130.375 + 228.203x - 90.625x^2$ $r = 0.9228^*$

关于限制根系生长的土壤紧实度如表 2 所示,当土壤容重大于 1.4g/cm<sup>3</sup>, 穿透阻力大于 15kg/cm<sup>2</sup>, 小麦根系生长开始受阻;当容重大于 1.5g/cm<sup>3</sup>, 阻力大于 25kg/cm<sup>2</sup> 时,则严重阻碍了根系的生长,这时的根量比容重在 1.3g/cm<sup>3</sup> 时的根量减少了 50.6%, 生物量也降低了 47.8%。看来,当前作物收获后,若土壤容重未超过 1.4g/cm<sup>3</sup>, 阻力小于 15kg/cm<sup>2</sup> 时,耕翻的作用是小的。当然影响土壤紧实度除了容重之外,还有土壤含水量。根据 2 年来对土壤含水率、容重与穿透阻力测定的资料建立了标准方程(表 3),从方程可看出,当土壤含水率一定时,穿透阻力随容重的增加而增加,当容重一定时,穿透阻力随含水率的增加而降低,可见降低土壤穿透阻力,除了可通过耕翻调整土壤紧实度,也可通过调节土壤含水量来达到。

表 3 土壤穿透阻力(y)与含水量(x<sub>1</sub>)、容重(x<sub>2</sub>)的关系

Table 3 Regression of soil penetration resistance (y) on soil water moisture content (x<sub>1</sub>) and bulk density (x<sub>2</sub>)

土层深度 (cm) Depth	方程式 Equation	R	标准误差 S. E.
0—7	$y = 13.52 - 0.603x_1 + 7.12x_2$	0.766**	2.41
7—14	$y = 40.11 - 1.400x_1 + 4.76x_2$	0.860**	5.50
14—30	$y = 29.94 - 1.050x_1 + 4.40x_2$	0.890**	2.89

表 4 砂壤土不同容重的孔隙分布

Table 4 Pore distribution under various bulk densities of soil

容重 (g/cm <sup>3</sup> ) Bulk density	总孔隙 (%) Total porosity	毛管孔隙 (%) Capillary porosity	非毛管孔隙 (%) Non-capillary porosity	有效孔隙占总孔隙 (%) Effective porosity/total porosity
1.0	60.1	41.2	18.9	17.1
1.1	57.5	42.5	15.0	18.9
1.2	54.1	41.3	12.8	20.0
1.3	51.8	41.9	9.9	20.7
1.4	47.4	39.6	7.6	20.6
1.5	42.8	37.1	5.7	10.9
1.6	41.0	37.3	4.2	7.4

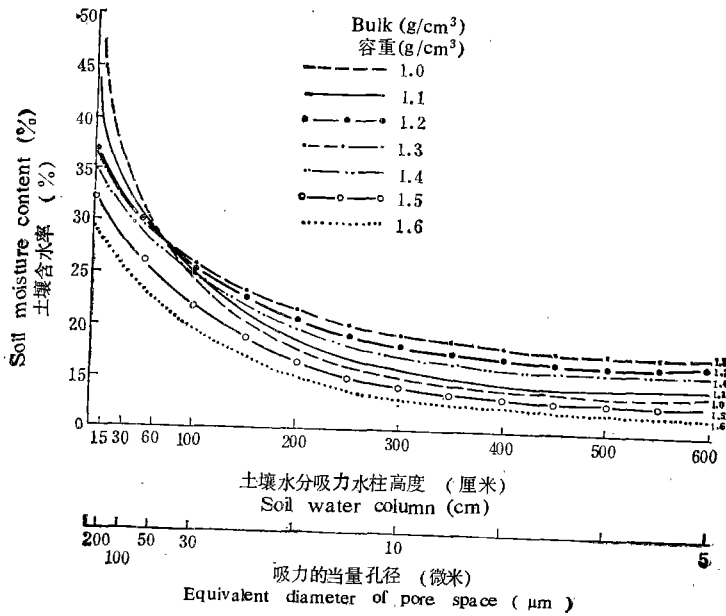


图 6 砂壤土在不同容重条件下的持水曲线

Fig. 6 Water suction curves for sandy-loamy soils with different bulk densities

### (三) 对土壤物理性的影响

土壤耕作的一个主要目的就是调节耕层土壤紧实度,也就是调节土壤的孔隙比,以改善耕层的固、液、气三相的比率,为作物根系的生长创造一个良好的土壤环境。从表 4 可看出,总孔隙和非毛管孔隙(直径  $> 0.2\text{mm}$ )随容重的增加而减少,而有效孔隙(直径  $0.2-0.005\text{mm}$ )以容重  $1.2-1.4\text{g/cm}^3$  为最佳,当容重从  $1.4$  增至  $1.5\text{g/cm}^3$  时,有效孔隙减少了  $47.1\%$ 。从通气保水性看,容重  $1.0$  和  $1.1\text{g/cm}^3$  的土壤过于疏松,不利于保墒,当容重增至  $1.5\text{g/cm}^3$  时,土壤过于紧实,非毛管孔隙降至  $5.7\%$ ,则通透性不良,有效水降低,根系生长会受阻。在低吸力的情况下,土壤的持水量主要取决于毛细管作用,而不同吸力下的土壤持水量与孔隙分布有关。从不同容重的土壤水分特征曲线可看出(图 6),土壤饱和含水量在施加低吸力( $pF < 2$ )时,容重小的脱水快,随容重增加,脱水逐渐减慢,容重  $1.2-1.3\text{g/cm}^3$  的持水曲线的位置高于其他曲线,这说明土壤有效含水量显著高于其它各级的土壤容重,可见最佳容重的土壤有较合理的孔隙配置,它可协调土壤的水、气矛盾,并有较高可利用的土壤含水率。

## 三、讨 论

不同层次的土壤作成不同容重处理的试验,对同一层次不同容重的产量差异,可视为土壤紧实度的产量效应,同一容重不同层次的产量差异,可视为土壤层次间的养分产量效应。从试验结果可看出,不论哪一层土壤都应有适宜的紧实度( $1.2-1.3\text{g/cm}^3$ )才能获得高产,即使是肥沃的表土( $0-7\text{cm}$ )也不例外。在容重一定范围内( $1.0-1.3\text{g/cm}^3$ )产量随容重的增加而提高,如容重由  $1.0$  增至  $1.2\text{g/cm}^3$ ,则增产  $15.8\%$ ;至  $1.3$  时则增产  $23.7\%$ 。当容重达到  $1.3\text{g/cm}^3$  以上,每增加  $0.1$ ,减产  $10.4\%$ ,其它两层土壤也有同样的变化趋势,这说明不论是肥力高或低的土壤,紧实度对作物产量都有密切关系。

人们习惯总是担心土壤过紧会影响作物生长,而忽视了土壤过于疏松也同样对作物生长不利,目前国内外已有不少研究指出<sup>[1]</sup>,土壤过度疏松或紧实,都可造成作物减产,其减幅可达  $10-30\%$ ,可见适宜紧实度在作物增产上有重要意义。土壤适当紧实对水分和养分的扩散、利用有很大的关系。一些研究者<sup>[2]</sup>认为,当容重由  $1.0$  增至  $1.6\text{g/cm}^3$  时,养分扩散系数有所增加,这是由于容重增加时,水膜连续性也增加,养分移动的曲折率减少,同时当容重增加时,单位容积土体内的电荷密度也相应增加,因颗粒靠近,离子振荡容积会发生重合,从而提高了扩散系数。土壤含水量与容重有密切关系,适当增加土壤紧实度,也能增加单位体积内的有效贮水量。而土壤养分向根际移动不论是通过扩散和质流都是土壤含水量的函数<sup>[4]</sup>。所以适当紧实的土壤,能增加根—土的密接度,提高根系的功能和对肥水的利用率。但土壤过于紧实,一方面有效水量降低了,同时因土壤机械强度过大,根生长受阻,不能在土壤中均匀分布,这对作物吸收土壤中的水分和养分也很不利。土壤机械强度过大,也增加根生长过程中本身能量的消耗,故过度紧实的土壤,作物的生长和产量都被降低。

不同肥力的土层位置是土壤耕作的主要理论依据,长期以来认为表层土经种植作物之后,土壤肥力下降,故必须把上层土翻下去,将下层有结构的土壤翻上来,要上下交替使

用。事实上并非如此,我们对土壤层次中的养分分析和生产力的测验,都证明上肥下瘦,土壤肥力是呈 T 型分布的。这种分布状态,适应作物根系上多下少的特性,利于早发壮苗。很早以前,德国和法国的一些学者如 Ф. Ахеньях 和 Жан 就主张用中耕机代替有壁犁翻耕<sup>[3]</sup>,也许就是这个道理。在生产上如何最有效地运用这一规律,投入较少的能耗,获得更多的收获,这是亟需解决的问题。少免耕耘所以能增产,可能就是由于不翻乱土层,合理利用了土壤肥力的自然分布和保持原状土适宜紧实度的缘故。

### 参 考 文 献

- [1] 李笃仁等, 1982: 土壤紧实度对作物根系生长的影响。土壤通报,第 3 期, 20—22 页。
- [2] 凌云霄, 1980: 土壤中磷酸离子扩散的研究,土壤学进展,第 4 期, 1—7 页。
- [3] 周绍权, 1980: 国外耕法进展概况。土壤学进展,第 1 期, 12—14 页。
- [4] Daniel, Hill, 1971: Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields. pp. 139—217. Hebrew University of Department of Soil Science. The Jerusalem Rehovoth Israel.

## THE WHEAT GROWTH AFFECTED BY THE SOIL COMPACTION AND LAYERS

Huang Xixi

(Jiangsu Agricultural College)

### Summary

Results from the experiment on sandy-loam soil with different bulk densities showed that there was a linear relation of quadratic curve between wheat yield and bulk density of soil, the highest yield occurred on the soils with the bulk densities of 1.23—1.31 g/cm<sup>3</sup>. When the bulk density was larger than 1.5 g/cm<sup>3</sup> and the penetration resistance for root was 25 kg/cm<sup>2</sup>, the root growth was hindered seriously.

The experiment also proved that the soil nutrients was more in upper layer and less in lower layer, showing a T-type distribution. This is consistent with the character of the root system-growing, more in the upper and less in the lower. And therefore, keeping the original state of the soil layers and the fertility distribution is advantageous to coordination of the supply and demand of soil nutrients.