

## 黑土层厚度及心土培肥对大豆产量的影响

匡恩俊, 刘峰, 高中超

(黑龙江省农业科学院 土壤肥料与环境资源研究所, 黑龙江省土壤环境与植物营养重点实验室, 黑龙江省肥料工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘要:**在盆栽试验条件下,以典型岗地白浆土土层结构为基础,通过改变黑土层的厚度研究了心土层对大豆产量的贡献;并通过混施磷肥和钙肥,研究了心土培肥的效果。结果表明:随着黑土厚度的增加,大豆株高和产量显著增加,白浆土心土对大豆产量的贡献很低,仅为4.7%;各心土培肥处理比心土混层增产9.7%~18.1%,比白浆土原状土壤增产16.0%~34.1%,土壤施磷后增加了Ca<sub>2</sub>-P、Ca<sub>8</sub>-P和Al-P的含量。因此,白浆土心土混施钙磷肥对大豆有显著的增产效果。

**关键词:**大豆;黑土;白浆土;心土;培肥;产量

**中图分类号:**S141.9

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2012)02-0266-04

## Effect of Black Soil Depth and Subsoil Fertilizing on Soybean Yield

KUANG En-jun, LIU Feng, GAO Zhong-chao

(Heilongjiang Fertilizer Engineering Research Center, The Key Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition of Heilongjiang Province, Institute of Soil Fertilizer and Environment Resource, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Albic luvisol widely distributed in Sanjiang Plain of Heilongjiang province, and the soil fertility degraded seriously after decades of reclamation. In the present study, based on the vertical distribution of typical highland Albic luvisol, which was black soil (A, 0-18 cm), albic horizon (Aw, 18-36 cm) and illuvial horizon (B, > 36 cm), indoor stimulation experiments of (i) increase the depth of black soil from 20 to 60 cm with 20 cm as interval and, (ii) mix the layer of Aw and B and applied phosphate and calcium fertilizer were carried out, to elucidate the contribution of subsoil to soybean yield and the soil amendment effect in Albic luvisol. With the increase of black soil layers, the plant height and yield of soybean increased, and the calculated contribution rate of subsoil to soybean yield was only 4.7%. Soybean yield of subsoil fertilizer treatments were 9.7% - 18.1% higher than subsoil mixing, and 16.0% - 34.1% higher than control. Subsoil fertilizing phosphate increased content of Ca<sub>2</sub>-P, Ca<sub>8</sub>-P and Al-P. Results suggest that the subsoil fertility of Albic luvisol is lower and subsoil applying phosphate and calcium can improve soil fertility, hence increase soybean yield.

**Key words:** Soybean; Black soil; Albic luvisol; Subsoil; Fertilizing; Yield

作物产量的提高在很大程度上取决于对深层土壤水分和养分的利用能力<sup>[1-3]</sup>。在保证水分充足利用且一致条件下,作物对深层土壤养分的利用就显得尤为重要。所谓心土,是相对于表土而言的,一般指耕作层以下至母质层之间的土壤。近年来,有关心土养分对作物的影响受到学者们的广泛关注。相关研究表明,较深层次(20~40 cm)施肥能明显提高作物产量<sup>[4-5]</sup>;作物除主要从耕层吸收磷外,下层磷素营养也有重要意义<sup>[6]</sup>,将磷肥施于表层土壤时,底土中磷含量很低,其结果造成磷的利用率低、肥效差<sup>[7]</sup>;适当深施磷肥,才能满足作物中后期对磷的需求<sup>[8-9]</sup>。因此,肥料的深层施用能够保证作物中后期养分的供给,有利于促进根系向下伸展,对保障干旱、半干旱地区作物的高产、稳产

具有重要的现实意义。白浆土是我国的低产土壤,黑土层厚度一般不足20 cm,心土养分贫瘠,主要表现为有效磷和pH值偏低,故采用向心土施磷和石灰的方法对白浆土进行心土培肥。该试验采用盆栽的方法研究了黑土厚度对大豆产量的影响,以明确肥沃心土对大豆产量贡献;并探讨了心土培肥改良瘠薄白浆土的增产效果,为改造瘠薄低产土壤提供可靠的技术支撑。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验设计

供试土壤取自哈尔滨市阿城区人工林落叶松下的岗地白浆土,黑土层(A)为0~18 cm,白浆层

收稿日期:2012-02-28

基金项目:农业部大豆产业技术体系资助项目(nycyt-x-004);国家自然科学基金资助项目(41171214);2010年黑龙江省农业科技创新工程青年资助项目;中国与联合国开发计划署绿色发展项目(CPR/06/209-07)。

第一作者简介:匡恩俊(1982-),女,硕士,研究方向为土壤肥力。E-mail:kuangenjun2002@163.com。

表 1 供试土壤化学性质  
Table 1 Chemical properties of soil

土层 Horizons	全量养分 Total nutrition/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$			有机质 O. M $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	速效养分 Available nutrition/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$			pH		CEC $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$
	全氮 Total-N	全磷 Total-P	全钾 Total-K		碱解氮 Alkali hydro- lyzable N	有效磷 Available $\text{P}_2\text{O}_5$	速效钾 Available K	$\text{H}_2\text{O}$	HCl	
黑土层 Black soil	1.31	0.71	45.60	24.00	74.20	10.00	183.82	6.94	5.66	19.78
白浆层 Albic horizon	0.50	0.60	38.20	6.90	22.26	9.27	229.80	5.50	3.80	15.42
淀积层 Illuvial horizon	0.48	0.74	36.40	11.20	37.10	17.50	188.69	5.20	3.68	26.28

(Aw) 为 18~36 cm, 淀积层(B) 为 36 cm 以下。土壤基本理化性质表 1 所示。

试验于 2007 年在黑龙江省农业科学院盆栽场进行。采用高 70 cm、直径为 30 cm 无底塑料管进行试验, 3 次重复, 大豆品种为北豆 5 号。2007 年 6 月 2 日播种, 每盆保苗 4 株, 每盆浇水定量。9 月 28 日收获测产。试验分 2 组进行。

1.1.1 黑土层厚度对大豆生育和产量的影响 按照黑土层厚度的不同, 设 4 个处理:

①对照(A/Aw/B): 按照白浆土发生层顺序, 自上而下依次为黑土层、白浆层、淀积层, 各土层厚均为 20 cm。

②黑土 20(A20): 表层填装 20 cm 黑土, 以下 40 cm 填装河沙(中沙, 粒径为 0.35~0.50 mm);

③黑土 40(A40): 表层填装 40 cm 黑土, 以下 20 cm 填装河沙;

④黑土 60(A60): 整个管内充填 60 cm 黑土。

1.1.2 心土培肥对大豆生育和产量的影响 根据白浆土心土有效磷和 pH 偏低的特点, 向心土层施磷和石灰, 设 5 个处理:

①对照(A/Aw/B): 按照白浆土发生层顺序, 自上而下依次为黑土层、白浆层、淀积层, 各土层厚均为 20 cm;

②心土混层[A/(Aw+B)]: 将白浆层和淀积层按照 1:1 比例混合(以下均称为混合层)后, 充填入盆的底部 20~60 cm, 上面充填黑土 20 cm;

③磷培肥心土[A/(Aw+B)+P]: 在同②等量的混合层内全层混施三料磷肥 59.82 g 后(磷肥用量根据磷酸吸收系数计算得出<sup>[10]</sup>), 充填入盆的底部 20~60 cm, 上面 20 cm 充填黑土;

④钙培肥心土[A/(Aw+B)+Ca]: 在同②等量的混合层内全层混施石灰 64 g(石灰用量根据石灰需要量确定<sup>[10]</sup>);

⑤磷钙综合培肥心土[A/(Aw+B)+(P+Ca)]: 在同②等量的混合层内全层混施石灰 64 g 和三料磷肥 59.82 g。

## 1.2 测定项目和方法

1.2.1 大豆株高和产量 大豆出苗 15 d 后, 开始每隔 7 d 测量株高。成熟后, 将每盆所有大豆植株

收获测产。

1.2.2 土壤化学指标 收获后各处理分层次取土壤样品, 测定全磷、有效磷、全钙、电导率等指标, 相关指标的测定参照鲁如坤编著的土壤农业化学分析方法<sup>[11]</sup>。全磷用  $\text{HClO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4$ -钼锑抗比色法; 有效磷用  $\text{NaHCO}_3$ -钼锑抗比色法; 全钙用硝酸-氢氟酸-高氯酸消煮-原子吸收分光光度法。

## 1.3 数据分析

采用 DPS 7.05 和 Excel 2003 进行数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 黑土层厚度对大豆生育和产量的影响

2.1.1 对大豆株高的影响 由图 1 可知, 大豆在开花期(7 月 13 日)之前, 各处理间株高差异不大, 因为大豆的根系还没有下扎到较深土层, 开花期后土层深度对大豆株高的作用逐渐明显, 株高表现为随黑土层厚度增加而增加, 依次为  $\text{A60} > \text{A40} > \text{A20}$  处理。但对照(A/Aw/B)的株高仅略高于 A20 处理, 表明贫瘠的白浆土心土层对大豆生长发育的贡献不足。

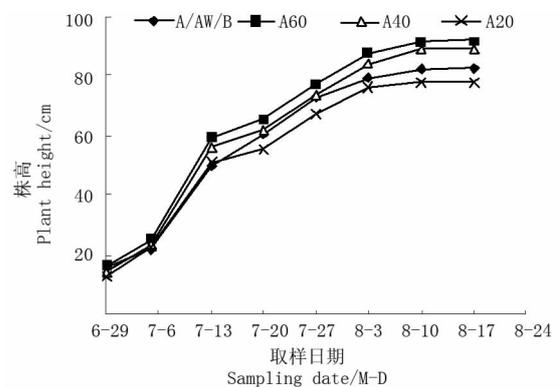


图 1 黑土不同处理对株高的影响

Fig. 1 The effect of different black soil treatments on plant height

2.1.2 对大豆产量的影响 由图 2 可知, 大豆产量表现出随黑土层厚度增加而增加的趋势。当黑土层厚度从 20 cm 增加到 40 cm 时, 大豆增产幅度高达 28.9%; 黑土层厚度从 40 cm 增加到 60 cm 时, 大豆增产率为 11.6%。大豆产量与黑土层厚度的回归方程为:  $y = 27.588 \ln(x) - 8.1562$ , 呈极显著正

相关( $R^2 = 0.9917$ )。白浆土(对照)由于其心土层内养分瘠薄,大豆产量与 A20 处理差异不显著。

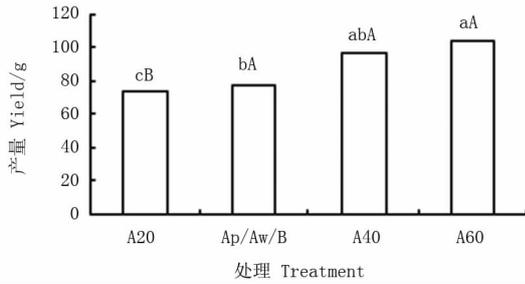


图2 心土层深度对大豆产量的影响

Fig.2 Effect of subsoil depth on soybean yield

2.2 心土培肥对大豆生育和产量的影响

2.2.1 对大豆株高的影响 由图3可知,心土培肥各处理间株高以对照最低,磷培肥处理 [A/(Aw + B) + P] 最高,且在整个生育期一直都维持此状态。白浆土黑土层薄,有的地方甚至不足 20 cm,其下层的白浆层化学养分瘠薄、物理性质欠佳,导致作物发育不良。

2.2.2 对大豆产量的影响 大豆是需磷量较多的作物,大豆籽粒含磷量远远高于水稻、小麦和玉米<sup>[12]</sup>。磷作为心土培肥物料,在大豆上的增产效果好于禾本科作物<sup>[13]</sup>。由图4可看出,各心土培肥处理大豆产量以磷培肥效果最好,钙培肥次之,磷钙综合培肥和钙培肥增产效果相近。各心土培肥处理均有显著的增产效果,比心土混层处理增产 9.7% ~ 18.1%,比对照增产 16.0% ~ 34.1%。

表2 心土培肥对土壤化学性质的影响

Table 2 Effect of subsoil fertilizing on soil chemical properties

土层 Horizons	pH(H <sub>2</sub> O)	有效磷 Available-P /mg·kg <sup>-1</sup>	全磷 Total-P /g·kg <sup>-1</sup>	电导率 EC /μS·cm <sup>-1</sup>	全钙 Total-Ca /mg·g <sup>-1</sup>
A	7.62	11.91	0.80	82	7.98
Aw	5.61	9.27	0.51	65	6.20
B	5.94	17.50	0.72	34	6.41
Aw + B	5.84	13.99	0.70	83	6.91
Aw + B + Ca	8.08	10.31	0.58	154	9.30
Aw + B + P	5.84	327.70	1.75	83	6.91
Aw + B + P + Ca	8.01	445.18	3.00	128	9.91

由图5可知,各层土壤磷组分存在差异。在 A、Aw 和 B 层 3 个土层中,能被作物利用的有效磷源 Ca<sub>2</sub>-P、Ca<sub>8</sub>-P 和 Al-P 三者总和 A 层(41.7%) 高于 Aw(9.1%) 和 B 层(24.7%),对于作物来说,不可利用磷源 O-P 和 Ca<sub>10</sub>-P 含量 A 层则低于 Aw 和 B 层土壤。

土壤施磷后增加了 Ca<sub>2</sub>-P、Ca<sub>8</sub>-P 和 Al-P 的含量。与混合层(Aw + B)相比,磷培肥和磷钙综合培肥的 Ca<sub>2</sub>-P 分别增加了 6.6%、9.5%,Ca<sub>8</sub>-P 分别增加了 8.4%、34.3%,Al-P 含量分别增加了 16.0%、

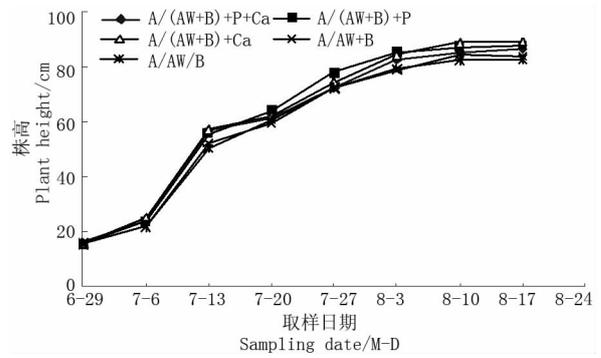


图3 心土培肥不同处理对大豆株高的影响

Fig. 3 The effect of different subsoil fertilizing treatments on plant height

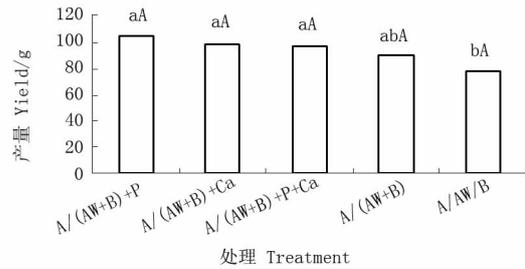


图4 心土培肥各处理对产量的影响

Fig. 4 The effect of subsoil fertilizing on yield

2.2.3 对土壤化学性质的影响 由表2可知,施钙对增加土壤 pH 和电导率的作用明显,2 个施钙处理提高了土壤的 pH;施磷能提高土壤中磷的含量,特别是能明显提高有效磷的含量。

12.8%。Fe-P 含量分别降低了 4.0%、11.2%,O-P 含量降低了 36.0%、40.4%。磷肥的施入增加了土壤中的有效态磷源。

与混合层(Aw + B)相比,钙培肥区 Fe-P 含量增加了 7.7%,Ca<sub>10</sub>-P 增加了 3.8%,O-P 降低了 10.4%,可以看出,钙培肥区 O-P 含量有向 Fe-P 和 Ca<sub>10</sub>-P 转化的趋势。

3 结论与讨论

黑土层厚度与大豆生育、产量呈正相关。当黑

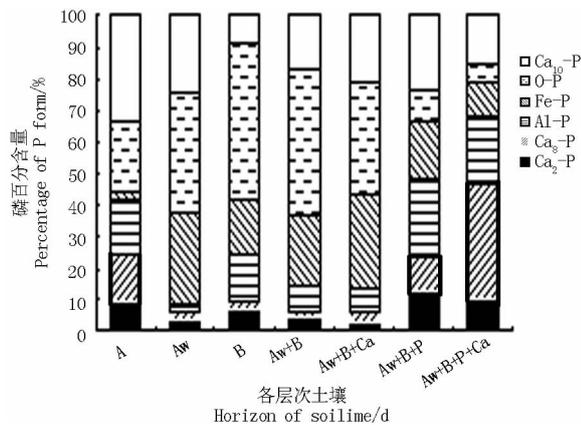


图5 各处理不同土层对磷组分的影响

Fig 5 The effect of forms of inorganic P in different treatments

土层厚度从 20 cm 增加到 40 cm,大豆增产率高达 28.9%,从 40 cm 增加到 60 cm 时大豆增产率为 11.6%,说明随黑土层厚度的增加,大豆产量的增幅呈减少的趋势。白浆土心土养分不足,大豆产量仅与 20 cm 黑土处理的产量相当,因此,增加白浆土心土的肥力对于增加作物产量具有重要意义。由于盆栽试验是在保证水分供应充足条件下进行的,可以认为不同处理之间的产量差异来源于心土化学养分差异的结果。根据白浆土心土磷素不足的特点,通过向心土中施用磷素来提高白浆土心土的供磷能力可以起到事半功倍的培肥效果。在田间条件下,增加肥沃土层深度的意义不仅局限于可以增加养分供给,同时也扩大了土壤供给水分范围,从而提高抗灾能力。利用心土培肥的方法增加白浆土心土的肥力,增产效果显著<sup>[14-15]</sup>,其中各培肥处理比心土混层增产 9.7%~18.1%,比对照增产 16.0%~34.1%。土壤施磷后增加了  $Ca_2$ -P、 $Ca_8$ -P 和 Al-P 的含量。

## 参考文献

[1] 苗果园,高志强,张云亭,等.水肥对小麦根系整体影响及其与地上部相关的研究[J].作物学报,2002,28(4):445-450. (Miao G Y, Gao Z Q, Zhang Y T, et al. Effect of water and fertilizer to root system and its correlation with tops in wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(4): 445-450.)

[2] 孙志强,王宗胜,鲍国军,等.施肥对黄土高原旱地冬小麦根系生长的影响[J].水土保持研究,2003,10(4):141-143. (Sun Z Q, Wang Z S, Zhang Y T, et al. Effect of fertilization on the growth of winter wheat roots in dryland in loess plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2003, 10(4): 141-143.)

[3] 翟丙年,孙春梅,王俊儒,等.氮素亏缺对冬小麦根系生长发育的影响[J].作物学报,2003,29(6):913-918. (Zhai B N, Sun C M, Wang J R, et al. Effects of nitrogen deficiency on the growth and development of winter wheat roots[J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(6): 913-918.)

[4] 石岩,位东斌,于振文,等.施肥深度对旱地小麦花后根系衰老的影响[J].应用生态学报,2001,12(4):573-575. (Shi Y, Wei D B, Yu Z W, et al. Influence of fertilization depth on root system senescence of upland wheat after anthesis[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 12(4): 573-575.)

[5] 张永清,李华,苗果园.施肥深度对春小麦根系分布及后期衰老的影响[J].土壤,2006,38(1):110-112. (Zhang Y Q, Li H, Miao G Y. Effect of fertilization depth on distribution and late senescence of root system of spring wheat[J]. Soil, 2006, 38(1): 110-112.)

[6] 熊俊芬,石孝均,毛知耘.定位施磷对土壤无机磷形态土层分布的影响[J].西南农业大学学报,2000(2):123-125. (Xiong J F, Shi X J, Mao Z Y. Effects of six-year phosphorus fertilization on the distribution of inorganic P forms in surface soil and subsoil[J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2000(2): 123-125.)

[7] 李晓林,陈新平,崔俊霞,等.不同水分条件下表层施磷对小麦吸收下层土壤养分的影响[J].植物营养与肥料学报,1995,1(2):40-45. (Li X L, Chen X P, Cui J X, et al. Uptake of nutrients from subsoil by wheat as affected by P supply under different soil moistures[J]. Plant Nutrition and Fertilizing Science, 1995, 1(2): 40-45.)

[8] 周建斌,李昌纬,赵伯善,等.长期施肥对底土养分含量的影响[J].土壤通报,1993,24(1):212-231. (Zhou J B, Li C W, Zhao B S, et al. Influence of long-term fertilization on subsoil nutrient content[J]. Chinese Journal of Soil Science, 1993, 24(1): 212-231.)

[9] 张喜成,韩润娥,袁小良.局部施磷对小麦根系生长和分布的影响[J].土壤肥料,1993(5):38-40. (Zhang X C, Han R E, Yuan X L. Influence of wheat root growth and distribution with local phosphorus[J]. Soil and Fertilizer, 1993(5): 38-40.)

[10] 北海道中央農業試験場.土壤および作物栄養診断の基準[M].北海道中央農業試験場,1992:93-95. (Hokkaido Central Proving Ground. Soil and plant nutrition diagnostic criteria[M]. Hokkaido Central Proving Ground, 1992: 93-95.)

[11] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,1999. (Lu R K. Analytic technique of soil agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 1999.)

[12] 董钻.大豆产量生理[M].北京:农业出版社,2000:63-64. (Dong Z. Soybean yield physiology[M]. Beijing: Agriculture Press, 2000: 63-64.)

[13] 刘峰.白浆土混层改良的研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2003. (Liu F. Study of subsoil mixing improvement on Planosol[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2003.)

[14] 刘峰,贾会彬,赵德林,等.白浆土心土培肥效果的研究[J].黑龙江农业科学,1997(3):1-4. (Liu F, Jia H B, Zhao D L, et al. Effect of subsoil-fertilizing of Lessive soil[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 1997(3): 1-4.)

[15] 匡恩俊,刘峰,贾会彬,等.心土培肥改良白浆土的研究 I 白浆土心土培肥的效果[J].土壤通报,2008,39(5):1106-1109. (Kuang E J, Liu F, Jia H B, et al. Study on subsoil amendment of Albic livisol soil[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2008, 39(5): 1106-1109.)