

# 土壤结皮对大豆出苗的影响及黄淮海地区的关键解决技术

武婷婷, 吴存祥

(中国农业科学院 作物科学研究所/农业部北京大豆生物学重点实验室, 北京 100081)

**摘要:**大豆为子叶出土作物,土壤结皮严重影响大豆出苗质量。本文综述了土壤结皮的形成原因和过程、土壤结皮对土壤和农作物的影响。针对我国黄淮海地区土壤结皮给大豆出苗带来的不利影响,还简述了秸秆覆盖对抑制土壤结皮形成的作用效果,以期为黄淮海地区大豆的生产提供技术参考。

**关键词:**大豆;土壤结皮;出苗

**中图分类号:**S565.1      **文献标识码:**A      **DOI:**10.11861/j.issn.1000-9841.2017.05.0813

## The Influence of Soil Crusting on Emergence of Soybean and Its Key Solution in Huang-Huai-Hai River Valley

WU Ting-ting, WU Cun-xiang

(MOA Key Laboratory of Soybean Biology, Institute of Crop Science/Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Soybean is a dicot crop and its emergence requires the pull of cotyledon out of soil surface. Soil crusting influences the quality of seed emergence. This review illustrates the cause of formation and process of soil crusting, influence of soil crusting on soil and crop and the inhibitive effect of straw-mulching on soil crusting. Due to the influence of soil crusting on soybean production in the Huang-Huai-Hai River Valley, this review may provide technique support for soybean production in this area.

**Keywords:** Soybean; Soil crusting; Emergence

土壤结皮是在物理作用和化学作用下,表面土壤团聚体破碎形成致密层的现象<sup>[1-2]</sup>,在农业生产上俗称“板结”。大豆为子叶出土作物,顶土能力较差,土壤结皮易造成大豆缺苗。尤其是河南东部、山东南部、安徽和江苏北部等黄淮海夏大豆集中产区,土壤多为砂姜黑土,土壤粘重,土壤结皮严重影响出苗,造成缺苗断垄现象严重。

以往的研究表明,土壤结皮的形成机制主要分为物理机械作用和物理化学作用。物理机械作用是降雨使土壤团聚体颗粒分散,土壤颗粒飞溅并填充土壤间隙,形成坚硬的致密层;物理化学作用是在土壤团聚体的分散、阳离子的交换下,细小颗粒在运动过程中堵塞土壤孔隙而形成结皮<sup>[3-6]</sup>。由此可见,土壤结皮的形成是降雨、径流与土壤相互作用的复杂的物理变化过程<sup>[7]</sup>。本文从土壤结皮的形成原因和过程、土壤结皮对土壤和农作物的影响等方面,根据国内外相关文献,阐述了土壤结皮对大豆出苗的影响以及麦茬免耕覆秸技术对黄淮海夏大豆保苗、增产的重要性,以期为黄淮海地区大豆生产提供技术支撑。

### 1 土壤结皮的形成及对土壤和农作物造成的影响

#### 1.1 土壤结皮形成的原因

1.1.1 降雨 降雨是土壤结皮形成的必要条件。土壤结皮是在降雨对土壤的击溅打击和径流淤积压实的综合作用下形成的。降雨强度、降雨历时、降雨速率、降雨量和降雨能量等对土壤结皮的形成起着重要的作用<sup>[1,8]</sup>。降雨强度越大,径流深度越大,结皮硬度也越大,形成的结皮也越厚<sup>[8-9]</sup>。同时,学者们利用多种数学模型,模拟不同降雨特性与土壤结皮之间的关系<sup>[9-11]</sup>。Feng等<sup>[8]</sup>用数学方程模拟了土壤结皮厚度随降雨的加强而加厚的关系。冉启华等<sup>[12]</sup>结合物理模型实验方法和基于物理概念的水文响应数值模拟,用InHM模型分析了雨强和降雨量对土壤结皮发育的影响。

1.1.2 土壤因素 土壤结皮普遍存在于干旱半干旱地区,这是因为该类地区土壤有机质含量低,粉沙含量高。土壤结皮在沙壤土比黏土更容易形成<sup>[13]</sup>。此外,土壤黏性对于土壤结皮的形成起着至

收稿日期:2017-02-10  
基金项目:国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04);公益性行业(农业)科研专项(201303011);中国农业科学院科技创新工程。  
第一作者简介:武婷婷(1985-),女,博士,助理研究员,主要从事大豆生态育种研究。E-mail: wutingting@caas.cn。  
通讯作者:吴存祥(1969-),男,博士,研究员,主要从事大豆遗传育种与栽培研究。E-mail: wucunxiang@caas.cn。

关重要的作用,黏性过高或过低都会阻碍土壤结皮的形成<sup>[14-15]</sup>。土壤团聚体大小和团聚体稳定性直接影响土壤结皮的形成。团聚体越小,越容易形成结皮;团聚体越稳定越易形成结皮<sup>[16-17]</sup>。不同学者就黏土矿物种类与含量、交换性离子浓度、湿润速度、含水量等因素与土壤结皮形成与发育的关系做了研究<sup>[14, 18-20]</sup>。此外,其它因素比如坡度,结皮硬度随坡度的增大而减少<sup>[9]</sup>。影响结皮形成和发育的各个因素之间存在着密切的联系和互作。综合考虑各因素,是研究结皮形成机理和改善土壤环境的必要之选。

1.2 土壤结皮形成过程

土壤结皮是表层土壤在降雨径流或生物等共同作用下,形成的致密的土表硬壳,一般厚度约数毫米。土壤结皮形成的过程,不同的研究者给出了不同的结论。国外学者将土壤结皮形成过程归纳为从无到有3个阶段:从降雨到产流初始点,产流初始点到径流稳定状态,径流和入渗的稳定阶段<sup>[21]</sup>。国内学者蔡强国等<sup>[22]</sup>认为土壤结皮经历了形成—破坏—形成发育过程构成的动态循环周期。Gallardo等<sup>[23]</sup>将土壤结皮的形成过程概括为结构性结皮由土壤表面团聚体分解而成的微小颗粒形成;经过压缩,土壤颗粒形成更加致密的结构;土壤的渗透能力下降,形成土表集水;细小的土壤沉淀聚集形成土壤结皮。

1.3 土壤结皮对土壤和农作物的影响

1.3.1 土壤结皮对降雨入渗和径流的影响 土壤表面结皮降低降雨入渗,致使径流量增加,水流的侵蚀能力增加<sup>[24-25]</sup>。吴发启等<sup>[26]</sup>通过250次人工降雨,对比分析了结皮和无结皮土壤对降雨入渗和径流的影响。结果表明,非结皮土壤的平均入渗率是结皮土壤的1.25倍,产沙总量是1.28倍,结皮土壤产生径流总量是非结皮土壤的1.15倍,而且雨强越大,土壤结皮的影响作用越小。Emilio等<sup>[27]</sup>通过设置不同土壤结皮类型的处理,建立模型,研究和预测不同土壤结皮类型对土壤径流的影响。结果表明,土表贮存能力是揭示结皮土壤微结构与土壤径流之间关系的最好参数。

1.3.2 土壤结皮对土壤侵蚀的影响 土壤结皮主要通过两种方式影响土壤侵蚀:土壤结皮降低土壤的入渗率,增大表面径流,从而增加了径流的剪应力以及径流的输沙能力。同时,土壤结皮增强了土壤表面的抗剪切应力,减少了雨滴的溅蚀。定量评估土壤结皮对总的土壤侵蚀量的贡献量一直是研究的热点。卜崇峰等<sup>[28]</sup>比较了土壤结皮定量计算的主要指标的有效性及其局限性,包括容重、抗剪强

度、土壤薄片以及入渗量、溅蚀量等。结果表明,容重是反映结皮发育过程的有效指标,且涂膜测算方法具有精度高、易操作的特点。唐泽军等<sup>[29]</sup>利用稀土元素追踪土壤侵蚀过程的降雨模拟试验,引入结皮效应率概念,来定量评价结皮对土壤侵蚀的影响。结果表明,土壤结皮对土壤侵蚀的影响较大,阻碍土壤结皮的形成能减少土壤侵蚀。程琴娟等<sup>[30]</sup>基于室内模拟降雨实验发现,对比无土壤结皮,有结皮的土壤产流时间提早,产流量快速增加,产沙量递增,易于发育细沟侵蚀。

1.3.3 土壤结皮对农作物的影响 土壤结皮影响大气与土壤中氧气的交换,从而影响种子的发芽<sup>[31]</sup>。对于大豆发芽,需要幼苗将大的子叶顶出土表,土壤结皮对大豆发芽产生尤为重要的影响。结皮的形成会延迟农作物的各个生长期,最终导致农作物产量下降。同时,由于土壤结皮会降低土壤的降雨入渗率,增大地表径流,降低作物的水分利用率,也会引起农作物产量的下降<sup>[32]</sup>。

2 土壤结皮对大豆出苗的影响

2.1 耕作方式、播种方式、结皮时间对大豆出苗的影响

耕作方式对于控制土壤水分流失,缓解风蚀和土壤结皮,促进水分下渗和水分保持有着十分重要的作用<sup>[33]</sup>。免耕造成的粗糙的土壤表面,可以使土壤耐受降雨的打击,预防土壤结皮的形成;而耕作会引起土壤紧实和结构恶化,降雨时土表形成密闭的外壳,影响出苗<sup>[34-35]</sup>。同时,结皮时间对大豆出苗的影响也至关重要,播种后形成的土壤结皮对大豆出苗有着不利的影响<sup>[36]</sup>。为了研究不同耕作方式、播种方式、结皮时间对大豆出苗的影响,Rathore等<sup>[36]</sup>开展了田间试验,设置了4种不同的耕作播种方式(常规耕作平播、常规耕作垄作播种、过量耕作平播、免(少)耕平播)和6种不同的土壤结皮形成时间(无土壤结皮、播后24,48,72 h后形成结皮,播后立即形成,播后48 h后重复形成)。试验结果表明,免耕条件下种床上形成的土壤团粒小于过量耕作条件下的土壤团粒。垄作播种后是一种最好的播种方式,因为土壤环境在种子萌发和出苗过程中保持稳定一致。播种3 d大豆出苗基本完成,在播种后2 d内形成的土壤结皮对出苗的影响大于播种3 d后形成土壤结皮的作用。

2.2 土壤团粒结构对大豆出苗的影响

土壤团粒结构影响着土壤湿度,同时影响着大豆的出苗和生长。Johnson等<sup>[37]</sup>发现,当土壤团粒大小在1.2~8.5 mm的范围时,随土壤团粒的增

大,土壤压力降低,土壤干燥率上升,玉米出苗率下降。Holmes 等<sup>[38]</sup>发现土壤团粒越大(土壤大小在 0.5~12 mm 之间),土壤蒸发越大。土壤团粒大小与团粒间空气持水量成反比。Rathore 等<sup>[39]</sup>发现小的土壤团粒(<2 mm)的种床环境下出苗率和出苗速度均远远高于大的土壤团粒形成的结皮。

2.3 土壤结皮对不同籽粒大小的大豆出苗的影响

土壤结皮阻碍双子叶植物幼苗胚轴的向上运动,因而影响大豆的出苗。Longer 等<sup>[40]</sup>选取了大粒和小粒两个大豆品种,在播后 24 h 模拟土壤结皮的条件下,结果表明大粒种子的出苗率、根鲜重、茎鲜重较小粒种子高,并且差异显著。

3 解决黄淮海地区土壤结皮的关键技术 – 麦茬免耕覆秸技术

黄淮海夏大豆产区是我国第二大大豆主产区,常年种植面积约占全国大豆面积的1/3左右<sup>[41]</sup>。由于该地区收麦夏播时间紧张,大豆种植方式以麦收后抢墒免耕贴茬播种为主。然而,大量的田间麦秸和麦茬严重影响了夏大豆的播种质量和出苗质量,同时大量焚烧麦秸,造成严重的环境污染和巨大的资源浪费。土壤结皮现象在该地区较为严重,给大豆生产带来了不利的影响。针对以上问题,国家大豆产业技术体系研发了大豆免耕覆秸精量播种技术,一次性完成拔秸、播种、施肥、覆土、镇压、覆秸等工序。传统的免耕技术,播种苗带一般不覆盖,只在行间覆盖秸秆;免耕覆秸技术,秸秆在整个田间均匀覆盖,为黄淮海地区的大豆生产带来了变革性的影响。

3.1 免耕覆秸对土壤结构的影响

秸秆覆盖可保持土壤水分,降低土壤温度,改善土壤结构。刘立晶等<sup>[42]</sup>的研究表明秸秆覆盖可以抑制土壤水分蒸发,减少地表径流,蓄水保墒。Mannering 等<sup>[43]</sup>研究表明,麦秸覆盖可以有效地减少土壤径流和土壤表面密封。以前的研究表明秸秆覆盖可以降低种床土壤最高温度,提高土壤最低温度,保持土壤湿度,从而可以有效地提高大豆的出苗率<sup>[44]</sup>。王幸等<sup>[45]</sup>在江苏徐州开展 3 年的定位试验,比较了不同播种方式(免耕覆秸精量播种、常规免耕机械条播和浅旋人工撒播)和不同麦秸处理方式(全量秸秆还田和半量秸秆还田)对土壤物理性状的影响。与常规免耕机械条播和浅旋人工撒播相比,免耕覆秸精量播种,播种至出苗期土壤温度较低,土壤湿度较高,差异显著。秸秆全量还田处理土壤温度低于半量还田处理,而全量还田处理

土壤湿度仅在干旱年份高于半量还田处理。种床土壤硬度的降低、温度的下降和含水量的提高,有助于防止土壤板结,增加水分渗透,减少水土流失,为大豆萌发、出苗创造良好的环境<sup>[45]</sup>。

3.2 免耕覆秸对大豆出苗的影响

王幸等<sup>[45]</sup>的定位试验表明,免耕覆秸精量播种较常规免耕机械条播出苗早 1 d,较浅旋人工撒播早 1~3 d,同时田间出苗率最高;免耕覆秸精量播种初花期早 0.1~2.3 d,差异显著( $P<0.05$ )。相比之下,秸秆还田量则对出苗速度和生育进程的影响不显著。同时,发现免耕覆秸精播较常规免耕机械条播和浅旋人工撒播播种匀度高,出苗匀度高。秸秆全量还田的播种匀度好于半量还田。由此可见,免耕覆秸精量播种可以提高播种质量,提高大豆出苗率。

3.3 免耕覆秸对大豆生长发育的影响

与常规免耕机械条播相比较,免耕覆秸精量播种初花期早 0.1~2.3 d,播种-初熟期日数缩短 0.5~1.8 d,差异均达显著水平( $P<0.05$ ),发育速度快<sup>[45]</sup>。免耕播种大豆株高和底荚高度较浅旋人工撒播高。免耕覆秸精播秸秆全量还田和常规免耕机械条播秸秆全量还田处理大豆株高分别为 57.9 和 55.7 cm,底荚高度分别为 16.8 和 17.3 cm。大豆分枝数则表现为:浅旋人工撒播>常规免耕机械条播>免耕覆秸精播。免耕覆秸精量播种处理较常规免耕机械条播增产 4.12%~12.40%,较浅旋人工撒播增产 1.96%~5.50%;秸秆半量还田处理的产量高于全量还田处理,但差异不显著。麦茬免耕覆秸精量播种处理净利润较常规机械播种、人工小耧播种处理分别增加 1 053.60 和 2 109.45 元·hm<sup>-2</sup>,增效分别为 31.7% 和 93.0%,麦茬免耕覆秸精量播种处理成本利用率分别是常规机械播种、人工小耧播种处理的 1.4 和 2.3 倍,表明麦茬免耕覆秸精量播种为黄淮海夏大豆节本增效的播种技术<sup>[46]</sup>。

4 结论与展望

土壤结皮对土壤结构、地表径流及大豆出苗质量均有不利的影响。麦茬免耕覆秸技术是黄淮海地区解决土壤结皮的重要手段,是机械化生产、病虫害防治、品种选择形成的完备技术。2012 年起,部分内容或全部内容被遴选为农业部主推技术。该技术解决土壤结皮出苗不均的问题,有效改善群体结构,屡次获得高产纪录,在生产上大面积推广,有望为黄淮海大豆主产区生产提供一条新的途径。

参考文献

[1] 李浩宏,王占礼,申楠,等. 土壤结皮研究进展[J]. 人民黄河, 2015, 37(10): 92-98. (Li H H, Wang Z L, Shen N, et al. Research progress of soil crust[J]. Yellow River, 2015, 37(10): 92-98. )

[2] Helmut H, Herbert B. Dictionary Geotechnical Engineering/wörterbuch Geotechnik[M]. Berlin: Springer, 2014:1264.

[3] McIntyre D S. Permeability measurements of soil crusts formed from by raindrop impacts[J]. Soil Science, 1958, 12: 185-189.

[4] Levy G J, Levin J, Shainberg I. Seal formation and interrill soil erosion[J]. Soil Science, 1994, 58: 203-209.

[5] Gal M, Arcan L, Shainberg I. Effect of exchangeable sodium and phosphogypsum on crust structure scanning electron microscope observations[J]. Soil Science, 1984, 48: 872-878.

[6] Morin J, van W J. The effect of raindrop impact and sheet erosion on infiltration rate and crust formation [J]. Soil Science, 1996, 60: 1223-1227.

[7] 范文波. 坡耕地土壤结皮的成因及其作用研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2001. (Fan W B. Research on the cause of formation of soil crust and its function in slope cropland [D]. Yangling: Northwest of Agricultural and Forestry University, 2011. )

[8] Feng G, Sharrratt B, Vaddella V. Windblown soil crust formation under light rainfall in a semiarid region[J]. Soil & Tillage Research, 2013, 128:91.

[9] 刘志, 江忠善. 雨滴打击作用对黄土结皮影响的研究[J]. 水土保持通报, 1988(1): 62-64. (Liu Z, Jiang Z S. Research on the effect of rain drop on soil crusting [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1988(1): 62-64. )

[10] 吴发启, 范文波. 坡耕地土壤结皮形成的影响因素分析[J]. 水土保持学报, 2002, 16(1): 33-36. (Wu F Q, Fan W B. The analysis on the factors affecting soil crusting in slope cropland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(1): 33-36. )

[11] Bradford J M. Interrill soil erosion processes: Effect of surface sealing on infiltration, runoff, and soil splash detachment[J]. Soil Science, 1987, 51: 1566-1577.

[12] 冉启华, 钱群, 许月萍. 降雨因素对土壤表面结皮发育的影响[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2011, 51(6): 770-776. (Ran Q H, Qian Q, Xu Y P. Impact of rainfall factors on soil-surface seal formation [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2011, 51(6): 770-776. )

[13] Eldridge D J, Bradstock R A. The effect of time since fire on the cover and composition of cryptogamic soil crusts on a eucalyptus shrubland soil[J]. Cunninghamia, 1994(3): 581-599.

[14] 唐泽军, 左海萍, 于键, 等. ESP 值和黏粒含量对土壤表面封闭作用的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 51-55. (Tang Z J, Zuo H P, Yu J, et al. The sealing effect of ESP value and clay concentration on soil surface [J]. Journal of Agricultural Engineering, 2007, 23(5): 51-55. )

[15] Ben-hur M, Shainberg I, Bakker D, et al. Effect of soil texture and CaCO<sub>3</sub> content on water in infiltration in crusted soil[J]. Irrigation Science, 1985(6): 281-294.

[16] Farres P. The role of time and aggregate size in the crusting

process[J]. Earth Surface Processes, 1985(3): 243-254.

[17] Stern R. Clay mineralogy effect on raininfiltration seal formation and soil losses[J]. Soil Science, 1991(55): 455-462.

[18] 范云涛, 雷廷武, 蔡强国. 湿润速度和累积降雨对土壤表面结皮发育的影响[J]. 土壤学报, 2009, 46(5): 764-771. (Fan Y T, Lei T W, Cai Q G. The influence of moisture rate and cumulative rainfall on the development of soil crusting[J]. Soil Journal, 2009, 46(5): 764-771. )

[19] Bissonnais Y L, Bruand A, Jamagne M. Laboratory experimental study of soil crusting: Relation between aggregate breakdown mechanisms and crust structure[J]. Catena, 1989, 16(4): 377-392.

[20] 朱远达, 蔡强国, 胡霞, 等. 土壤理化性质对结皮形成的影响[J]. 土壤学报, 2004, 41(1): 13-19. (Zhu Y D, Cai Q G, Hu X, et al. The effect of soil physicochemical properties on the formation of crusting [J]. Soil Journal, 2004, 41(1): 13-19. )

[21] Onofiok O, Singer M J. Scanning electron microscope studies of surface crusts formed by simulated rainfall [J]. Soil Science, 1984, 48: 1137-1143.

[22] 蔡强国, 陆兆熊. 黄土发育表皮结皮过程和微结构分析的试验研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 1996(4): 363-370. (Cai Q G, Lu Z X. Research on soil crusting of yellow soil and micro-structure analysis [J]. Journal of Applied Foundation and Engineering Science, 1996(4): 363-370. )

[23] Gallardo-Carrera A, Léonard J, Duval Y, et al. Effects of seedbed structure and water content at sowing on the development of soil surface crusting under rainfall [J]. Soil & Tillage Research, 2007, 95(1): 207-217.

[24] 程琴娟, 蔡强国, 郑明国. 黄土土壤结皮对产流临界雨强的影响分析[J]. 地理科学, 2007(5): 678-682. (Chen Q J, Cai Q G, Zheng M G. Analyzing the effects of yellow soil crusting on the critical value of run-off [J]. Geography Science, 2007(5): 678-682. )

[25] Moor D C. Effect of surface sealing on infiltration [J]. Transaction of the ASAE, 1984(24): 201-205.

[26] 吴发启, 范文波, 郑子成, 等. 坡耕地暴雨结皮对作物生长发育影响的实验研究[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(2): 100-105. (Wu F Q, Fan W B, Zheng Z C, et al. Research on the influence of crusting on crop growth and development in slope cropland[J]. Resource and Environment in Arid Region, 2003, 17(2): 100-105. )

[27] Rodríguez-Caballero E, Cantón Y, Chamizo S, et al. Effects of biological soil crusts on surface roughness and implications for runoff and erosion[J]. Geomorphology, 2012, 145-146(1): 81-89.

[28] 卜崇峰, 蔡强国, 张兴昌, 等. 黄土结皮的发育机理与侵蚀效应研究[J]. 土壤学报, 2009, 46(1): 16-23. (Pu C F, Cai Q G, Zhang X C, et al. Research on development mechanism of yellow soil crusting and erosion effects[J]. Soil Journal, 2009, 46(1): 16-23. )

[29] 唐泽军, 雷廷武, 张晴雯, 等. 雨滴溅蚀和结皮效应对土壤侵蚀影响的试验研究[J]. 土壤学报, 2004, 41(4): 632-635. (Tang Z J, Lei T W, Zhang Q W, et al. Research on the effect of raindrop and soil crusting on soil erosion[J]. Soil Journal, 2004, 41(4): 632-635. )

[30] 程琴娟, 蔡强国. 模拟降雨下黄土表土结皮的侵蚀响应[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 73-77. (Cheng Q J, Cai Q G. Re-

sponses of soil surface crusts on soil erosion in loess under simulated rainfalls[J]. Journal of Soil & Water Conservation, 2013, 27 (4):73-77. )

[31] Shibru D. Note on effects of soil surface crust on grain yield of sorghum in the Sahel [J]. Field Crops Research, 1999 ( 61 ): 193-199.

[32] 吴发启, 范文波. 土壤结皮对降雨入渗和产流产沙的影响[J]. 中国水土保持科学, 2005, 12(2): 97-101. ( Wu F Q, Fan W B. The effect of soil crusting on rainfall infiltration and sediment runoff[J]. Chinese Soil and Water Conservation, 2005, 12 (2): 97-101. )

[33] Meyer L D, Mannering J V. Minimum tillage for corn: Its effects on infiltration and erosion[J]. Agriculture Engineering, 1961,42: 72-75.

[34] Shaw B T. Soil physical conditions and plant growth [M]. New York: Academic Press, 1952.

[35] Ghildyal B P, Rathore T R. Is soybean emergence a problem with you? [J]. Indian Farming XXIII, 1973(15): 17-25.

[36] Rathore T R, Ghildyal B P, Sachan R S. Effect of surface crusting on emergence of soybean (*Glycine max* L. Merr) seedlings II, influence of tillage treatment, planting method an time of crust formation. [J]. Soil & Tillage Research, 1983(3): 233-243.

[37] Johnson W H, Buchele W F. Influence of soil granule size and compaction on rate of soil drying and emergence of corn[J]. A-merican Society of Agriculture Engineering, 1961(4): 170-174.

[38] Holmes J W, Greacen E L, Gurr C G. The evaporation of water from bare soils with different tilths[A]. Transaction. 7th International Congress of Soil Science, 1960(1): 188-197.

[39] Rathore T R, Ghildyal B P, Sachan R S. Effect of surface crusting on emergence of soybean (*Glycine max* L. Merr) seedlings I. influence of aggregate size in the seedbed[J]. Soil & Tillage Research, 1983(3): 111-121.

[40] Longer D E, Lorenz E J, Cothren J T. The influence of seed size on soybean (*Glycine max* L. Merr) emergence under simulated soil crust conditions [J]. Field Crops Research, 1986 (4): 371-375.

[41] 李卫东, 张孟臣. 黄淮海夏大豆及品种参数[M]. 北京: 中国农业科学出版社, 2006. ( Li W D, Zhang M C. Soybean cultivars and cultivar parameters in the Huang-Huai-Hai River summer-planting region [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science Press, 2006. )

[42] 刘立晶, 高焕文, 李洪文. 秸秆覆盖对降雨入渗影响的试验研究[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(5): 12-15. ( Liu L J, Gao H W, Li H W. Experimental study on effect of mulch cover on rainwater infiltration[J]. Journal of China Agricultural University, 2004, 9(5): 12-14. )

[43] Mannering J V, Meyer L D. Theeffects of various rates of surface mulch on infiltration and erosion[J]. Soil Science Society of A-merica Journal, 1963, 27(1): 84-86.

[44] Singh G. Effects of wheat straw and farmyard manure mulches on overcoming crust effect, improving emergence, growth and yield of soybean and reducing dry matter of weeds[J]. International Jour-nal of Agricultural Research, 2009, 4(12): 418-424.

[45] 王幸, 吴存祥, 齐玉军, 等. 麦秸处理和播种方式对夏大豆农艺性状及土壤物理性状的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49 (8): 1453-1465. ( Wang X, Wu C X, Qi Y J, et al. Effects of straw management and sowing methods on soybean methods on soy-bean agronomic traits and soil physical properties[J]. Scientia Ag-ricultura Sinica, 2016, 49(8): 1453-1465. )

[46] 赵俊卿, 任建军, 卢为国, 等. 免耕覆秸精量播种对大豆生长发育和产量构成因素的影响[J]. 大豆科学, 2012, 31(5): 734-738. ( Zhao J Q, Ren J J, Lu W G, et al. Effects of no-till-age and straw mulching precise sowing on growth, development and yield components of post-wheat summer-sowing soybean in Huanghuaihai region[J]. Soybean Science, 2012, 31(5): 734-738. )