

科尔沁沙地沙质农田的土壤环境 与生产力形成过程*

赵哈林 张铜会 周瑞莲

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要 采取野外调查和室内分析相结合的方法, 研究了科尔沁沙地不同类型农田土壤环境的特征和生产力形成过程, 结果表明: (1) 在科尔沁沙地, 5 种主要类型农田生长季平均土壤含水量是沙壤土水浇地(A) (12.4%) > 壤性风沙土水浇地(E) (9.5%) > 沙壤土旱坡地(B) (8.87%) > 沙壤土旱平地(C) (6.55%) > 风沙土旱平地(D) (5.70%)。0~60 cm 土壤温度是 D(22.04℃) > C(21.73℃) > B(21.40℃) > E(21.08℃) > A(21.05℃)。土壤养分综合指数高低的顺序是 A(93.9) > C(84.3) > E(84.2) > B(65.3) > D(48.4); (2) 5 种类型农田玉米植株高(cm) 和生物量(kg m⁻²) 都是 E(270, 2.96) > A(245, 2.70) > B(225, 2.12) > C(220, 1.86) > D(181, 1.32); (3) 玉米地上生物量与土壤速效 N、P、K 的相关系数为 0.860, 与土壤水分的相关系数为 0.837, 与土壤有机质含量的相关系数为 0.753, 而与地温的相关系数为 -0.976。

关键词 科尔沁沙地, 沙质农田, 土壤环境, 生产力

中图分类号 S151

土壤是作物赖以生存的基础。农田土壤环境好坏, 不仅关系到作物生长, 更影响其生产力的高低。在沙区, 由于风沙蚀积活动的影响, 土壤的空间分异性很大^[1]。加之农民根据农田地形和土壤状况采取不同的耕作措施, 更加剧了土壤环境和生产力的分化^[2]。但是, 对于沙区不同类型沙质农田土壤环境究竟有何差异, 对作物生长过程有何影响, 还很少见有报道。本文主要研究了科尔沁沙地不同类型沙质农田土壤环境特征及玉米生产力形成过程, 分析了土壤环境变化对玉米生产力的影响。

1 研究区自然概况

研究区位于内蒙古哲里木盟奈曼旗境内, 地处我国北方半干旱农牧交错带东端的科尔沁沙地腹地。地理位置 120°19' ~ 121°35' E, 42°14' ~ 43°32' N, 海拔 340~360 m。

该区属大陆性半干旱气候, 年均温 6.4℃, ≥10℃年积温 3 151.2℃, 无霜期 151 d。年均降水 364.6 mm, 年均蒸发量 1 972.8 mm。农田土壤类型主要为沙质草甸土(沙壤土)和农用风沙土, 总体特点是土壤中沙物质含量高, 养分含量低, 保水保肥能力差, 但透气性好, 水肥利用率高^[3]。

2 研究方法

先确定当地沙壤土水浇地(A)、沙壤土旱坡地(B)、沙壤土旱平地(C)、风沙土旱平地(D)、壤性风沙土水浇地(E) 5 种主要类型农田为研究对象。其中沙壤土水浇地和壤性风沙土水浇地原均为粘性较强的壤土, 只是后者处于流动沙地的下风向, 由于多年有风沙沉积而使表层土壤含沙量较高, 但耕作层以下仍为沙壤土; 沙壤土旱坡地和沙壤土旱平地也是粘性较强的壤土, 只是在有无灌溉和地形上与前者有所差异; 风沙土旱平地属于平缓沙地开垦后形成的劣质农田, 下层无保水层, 因而漏水漏肥。然后, 在每种类型农田中选择一面积较大的典型地块为研究样地, 再在每块样地中随机设置 4 个 1×1 m² 的固定样方用于各项指标调查观测和取样。各样地当年种植的作物均为同一品种的玉米, 测试期间只对其耕作方法和管理措施进行记载, 不进行统一规范。自 1998 年 5 月 14 日~9 月 20 日, 每 10 d 左右实地调

* 国家 973 项目(G20000487) 和国家重大基金项目(49890330) 资助

收稿日期: 2001-06-13; 收到修改稿日期: 2001-12-05

查一次玉米株高、茎径粗、叶面积指数、地上生物量、茎叶热值、0~30 cm 地温、0~60 cm 土壤含水量, 调查时间均为上午。其中土壤样品在耕作前一次性采取, 每点地上生物量另设样方采用收获法测定, 热值用日产热量仪测定, 地温采用日产地温仪测定, 土壤含水量用烘干称重法。土壤温度和土壤含水量按 10 cm 间隔测定。各组数据取平均值后进行统计分析。

3 研究结果和分析

3.1 不同类型农田土壤机械组成的差异

图 1 是 5 种类型农田土壤机械组成的比较。可以看出, 沙质土壤粒径 ≤ 0.005 mm 的土壤粘粒含量很低, 一般仅为 5%~11%, 而粒径 0.05~1 mm 的土壤颗粒含量高达 35%~75%。其中, 沙壤土 ≤ 0.005 mm 的土壤粘粒含量平均为 10.9%, 分别是风沙土的 1.76 倍; 粒径 0.05~1 mm 的土壤颗粒含量, 沙壤土平均为 41.5%, 为风沙土的 67.2%。显然, 沙壤土的土壤质地优于风沙土。

3.2 不同类型农田土壤养分的差异

表 1 是 5 种农田土壤各种养分含量的比较。可以看出, 沙壤土水浇地的土壤养分条件最好, 其各项养分含量均比较高, 而风沙土旱地的各项土壤养分含量均最低, 特别是有机质含量和速效 N、P、K 含量分别只有沙壤土水浇地的 40%、27.6%、60%、41.3%。壤性风沙土水浇地的养分状况, 除速效磷含量较高外, 其它指标均低于沙壤土水浇地而和沙壤土旱地相近。利用土壤养分综合指数(SND)公式:

$$SND = (O + N + P + K + N' + P' + K') \times 100 \div 7$$
 式中, O 为有机质相对值, N 、 P 、 K 为全养分相对值, N' 、 P' 、 K' 为速效养分相对值。计算出 5 种类型土壤养分指数高低的顺序为 A(93.9) > C(84.3) > E(84.2) > B(65.3) > D(48.4)。壤性风沙土水浇地之所以养分指数仅次于沙壤土水浇地而和沙壤土旱地相近, 主要是其耕作层虽含沙量高一些, 但犁底层仍为壤土, 依然保水保肥, 而且作为水浇地其施用有机肥和化肥量均明显高于旱地。

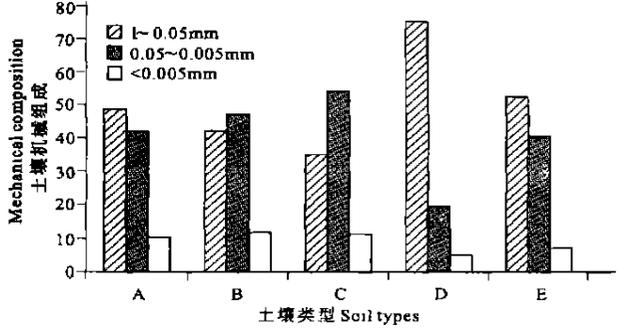


图 1 5 种类型沙质农田土壤机械组成比较

Fig.1 Mechanical construction of the 5 types of farmland

表 1 不同类型农田土壤养分的比较

Table 1 Difference in soil nutrients in the 5 types of soil

土壤类型 Soil type	有机质 Organic matter(g kg^{-1})	全氮 Total N(g kg^{-1})	全磷 Total P(g kg^{-1})	全钾 Total K(g kg^{-1})	速效氮 Availatte N(mg kg^{-1})	速效磷 Availatte P(mg kg^{-1})	速效钾 Availatte K(mg kg^{-1})	pH
A	8.5	0.58	0.20	29.0	29	5	92	8.25
B	4.6	0.33	0.17	27.5	14	3	74	8.25
C	6.3	0.55	0.21	27.0	27	3	90	8.20
D	3.4	0.21	0.13	27.3	8	3	38	8.50
E	6.4	0.42	0.19	26.6	23	8	74	8.20

3.3 不同类型农田土壤含水量的变化

图 2 是 5 种类型农田 0~60 cm 土层平均含水量季节变化曲线。显然, 整个生长季土壤含水量基本是沙壤土水浇地 > 壤性风沙土水浇地 > 沙壤土旱坡地 > 沙壤土旱平地 > 风沙土旱平地。5 种类型农田土壤含水量全期平均分别为 12.4%、9.50%、8.87%、6.55% 和 5.70%, 比值依次为 100:77:72:53:46。这

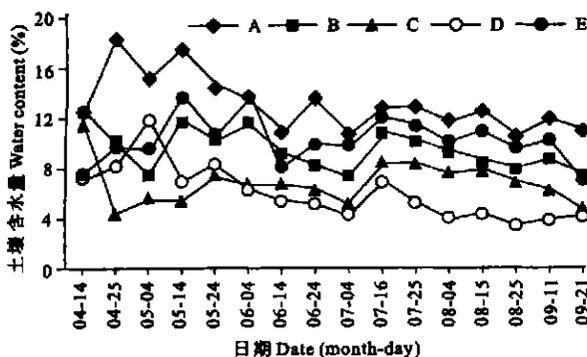


图2 不同类型农田0~60 cm 土壤含水量变化动态

Fig. 2 Change soil water content in different types of farmland

说明,水浇地土壤水分条件要好于旱地,沙壤土水分条件要好于风沙土地。另外,5种类型农田土壤含水量均是后期低于前期,其中沙壤土水浇地低 28.2%,沙壤土旱平地低 15%,壤性风沙土水浇地低 30.6%,风沙土旱平地低 48.1%,这一方面说明作物后期耗水量很大,不仅消耗了外来水的补充,而且消耗了部分土壤中储存的水量;另一方面说明,无论是灌溉地或旱地,风沙土地中消耗的水量都比沙壤土地高;三是5种类型农田土壤含水量曲线均呈波动式变化,其中水浇地的曲线曲折多、波幅大,旱地曲线曲折少、波幅小,这说明旱作农田其

土壤含水量变化主要受制于降水和作物耗水,而水浇地除此外还要受制于灌水次数和灌水量的多少。

3.4 不同类型农田土壤温度的比较

图3是5种类型农田土壤各月5~30 cm 土壤平均温度的比较。就全期土壤平均温度而言,是风沙土旱平地(22.04℃) > 沙壤土旱平地(21.73℃) > 沙壤土旱坡地(21.40℃) > 壤性风沙土水浇地(21.08℃) > 沙壤土水浇地(21.05℃)。3种沙壤土中,水浇地地温一直低于旱地,壤性风沙土和风沙土相比也是这样。这说明土壤含沙量高则生长季地温较高,而灌溉有利于降低生长季地温。5种类型农田的土壤温度5~8月一直以风沙土旱地最高,而到了9月当气温迅速下降时其下降也最迅速,这表明风沙土更容易受气温的影响^[4]。

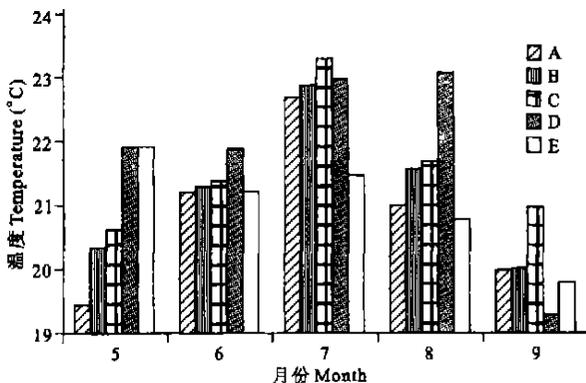


图3 不同类型农田土壤温度(°C)变化的比较

Fig. 3 Comparison of soil temperature (°C) among 5 types of soil

3.5 不同类型农田植物高度和生物量的比较

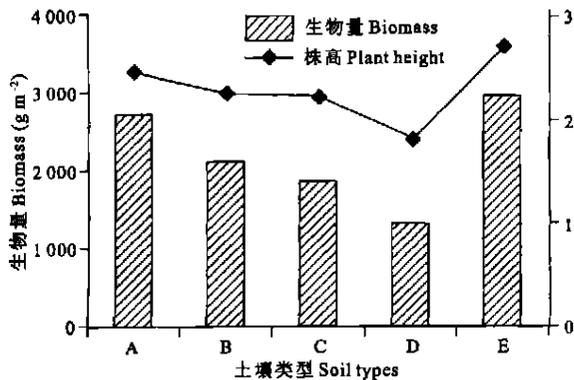


图4 不同类型农田玉米植株高度和地上生物量的比较

Fig. 4 Plant high and biomass of coms in 5 types of farmland

图4是5种类型农田植株高度和生物量的比较。可以看出,不论是植株高度,还是生物量,都是壤性风沙土水浇地>沙壤土旱坡地>沙壤旱平地>风沙土旱平地,其中5种类型之间的植株高度比为100:91:83:81:67,生物量为100:91:72:63:45。壤性风沙土水浇地与水浇地其植被高度和生物量分别相差 33% 和 65%,而沙壤土灌溉与不灌溉其植株高度和生物量分别仅相差 10% 和 26%。显然,灌溉与否对含沙量较高土壤的影响要大于对沙壤土的影响,土壤类型对其生物量的影响要大于对株高的影响。

3.6 不同类型农田玉米的形成过程

从图 5 可以看出, 5 种类型农田玉米的生长曲线均为 S 型。其中 6 月 4 日前为苗期, 生长比较缓慢, 曲线平缓上升; 7 月 25 日左右玉米抽雄之后, 高生长趋于停止, 曲线平直; 6 月 4 日~ 7 月 25 日为玉米的拔节- 孕穗- 抽雄期, 是快速生长期, 因而曲线陡峭。5 种类型农田玉米生长特征的区别主要在于, 水浇地中玉米的快速生长期起始时间早, 延续时间长 (4/6~ 25/7), 生长速度较快 ($2.5 \sim 4.8 \text{ cm d}^{-1}$), 植株也高 (2.45~ 2.70 m), 而旱作农田玉米快速生长期起始时间迟且短 (14/6~ 25/7), 生长速度较慢 ($1.9 \sim 2.6 \text{ cm d}^{-1}$), 植株也低 (1.81~ 2.20 m)。显然, 快速生长期起始时间迟、短, 生长速度慢, 对植株株高的形成不利。

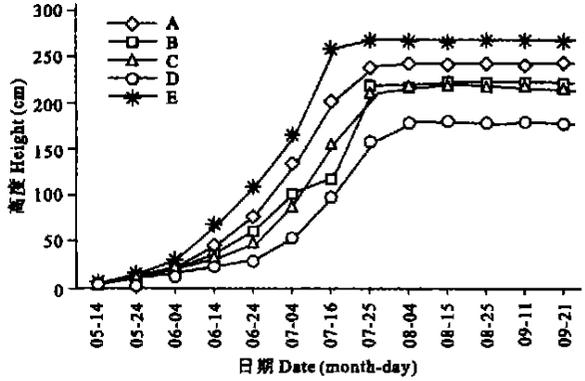


图 5 不同类型农田的玉米高生长过程

Fig. 5 Growth process of com in 5 types of farmland

3.7 不同类型农田玉米生物量积累过程

图 6 是 5 种类型农田玉米生物量的积累曲线。显然, 玉米生物量积累曲线与其高生长曲线有很大区别。主要表现在, 一是生物量的快速积累始期要较株高快速生长始期推迟 10~ 20 d, 而其停滞期一直到成熟时才出现; 二是玉米的生物量积累存在 2~ 3 个快速期, 如壤性风沙土水浇地有 2 个快速积累期, 分别为 7 月 4 日~ 7 月 16 日和 7 月 25 日~ 8 月 15 日, 沙壤土水浇地则存在 3 个生物量快速积累期, 即 7 月 4 日~ 7 月 16 日、7 月 25 日~ 8 月 4 日、8 月 25 日~ 9 月 11 日, 而高生长一般只有一个连续的快速生长期; 三是不同类型农田玉米生物量积累速率存在很大差别, 如生物量最高的积沙壤土水浇地从 7 月 4 日至 8 月 15 日, 其生物量日均积累速率 50.3 g m^{-2} , 而生物量最低的风沙土旱地的快速积累期从 7 月 16 日开始至 9 月 11 日结束, 日均积累速率仅为 36.5 g m^{-2} , 从而导致不同类型间生物量的差异比株高大。

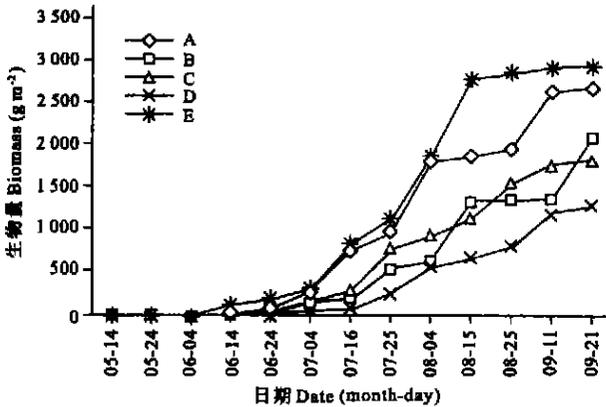


图 6 不同类型农田玉米生物量的积累曲线

Fig. 6 Accumulation curves of biomane in 5 types of farmland

3.8 玉米地上生物量与土壤环境因素的相关分析

为了研究土壤各项环境因素对玉米地上生物量的影响, 我们进行了玉米地上生物量与土壤水肥等指标的相关分析。从表 2 可以看出, 玉米地上生物量的高低与土壤速效养分、含水量和有机质含量关系最密切, 相关系数分别为 0.860、0.837 和 0.753。与生长季地温呈负相关, 相关系数 - 0.976。这说明, 多施有机肥和化肥, 旱地改为水浇地, 均是当地提高作物产量的有效措施^[5,6]。但施用化肥时, 应注意磷肥和氮肥配合施用, 以提高施用效果^[7,8]。

表 2 玉米地上生物量与土壤各项指标的相关系数

Table 2 Correlation coefficient of biomass with soil indexes

相关项目 Item	相关系数 Coefficient	相关项目 Item	相关系数 Coefficient	相关项目 Item	相关系数 Coefficient
0~ 30 cm 地温	- 0.976	土壤全 P	0.620	土壤速效 K	0.609
0~ 60 cm 土壤水分	0.837	土壤全 K	0.174	土壤全 N, P, K	0.586
土壤有机质	0.753	土壤速效 N	0.655	土壤速效 N, P, K	0.860
土壤全 N	0.558	土壤速效 P	0.851	≤0.005 mm 粘粒	0.211

4 结论和讨论

在科尔沁沙地的几种主要类型农田中,沙壤土农田的土壤养分和水分状况明显好于风沙土,前者平均有机质含量 0.65%,速效氮 23.3 mg kg⁻¹,速效磷 3.7 mg kg⁻¹,速效钾 85.3 mg kg⁻¹,全期 0~ 60 cm 土壤平均含水量 9.96%,分别是风沙土平均含量的 1.33 倍、1.50 倍、0.67 倍、1.52 倍和 1.22 倍。但同类土壤的旱地和水浇地其土壤养分和水分状况相差甚远。其中沙壤土水浇地和其旱地相比,上述各项指标依次高 56%、41.5%、66.7%、12.2% 和 60.8%;壤性风沙土水浇地和风沙土旱地相比,上述指标依次高 88.2%、1.88 倍、1.67 倍、9.47% 和 1.53 倍。这说明,风沙土虽然土壤水肥条件总体不如沙壤土,但只要加以施肥灌溉其土壤改善程度明显高于沙壤土。

由于土壤环境条件不同,导致其生物产量产生很大差别。本研究中,5 种类型农田生物量的高低依次为壤性风沙土水浇地(2 958.2 g m⁻²) > 沙壤土水浇地(2 701.6 g m⁻²) > 沙壤土旱坡地(2 115.8 g m⁻²) > 沙壤土旱平地(1 863.6 g m⁻²) > 风沙土旱平地(1 318.05 g m⁻²)。壤性风沙土水浇地虽然土壤水肥条件比沙壤土水浇地差,但其产量却最高,其原因是壤性风沙土并不属于真正的风沙土,它是在沙壤土的基础上,由于一定量的风沙沉积而使土壤粗化和养分浓度下降,其保水保肥能力仍然很好,且土壤通气性和水肥利用效率增强,只要科学施肥灌溉更有利于产量提高。当地有沙壤土地在冬春翻耕挂沙的习惯,其目的就是通过增加土壤中的含沙量,增加土壤的通透性,以提高作物产量。真正的风沙土农田上下土层都由沙子组成,其保水能力差,易干燥,短期干旱都会影响使其产量^[10],因此在半干旱的科尔沁沙地风沙土地不宜旱作种植玉米。

在科尔沁沙地,玉米株高的形成期主要在 6 月上旬至 7 月下旬的 50 d 左右时间里,在这之前高生长缓慢,之后株高生长停滞。生物量的形成与其株高形成有所不同,其主要形成期在 7 月上中旬至成熟期,总天数达 70~ 80 d。在主要生长期,如果前期生长快则可一直保持较高的生长速度,并使株高和生物量较大,如果前期生长慢,即使后期生长加快,其株高和生物量也不会达到应有程度。高生长的日均速率一般为单峰曲线,而生物量日积累速率多为双峰或多峰曲线^[11]。

在科尔沁沙地玉米的生物产量与土壤速效养分,土壤含水量和土壤有机质含量关系最密切,相关系数分别为 0.860、0.851 和 0.837,而与土壤全钾关系较差,相关系数仅为 0.174,与地温呈负相关,相关系数 - 0.976。这说明,增施有机肥、化肥和实施灌溉是提高当地农田玉米产量的有效措施。

参考文献

- 冯起,程国栋. 我国沙地水分分布状况及其意义. 土壤学报, 1999, 36(2): 225~ 236
- 赵哈林,黄学文. 科尔沁地区农田土壤沙漠化演变的研究. 土壤学报, 1996, 33(3): 242~ 248
- 徐斌,刘新民. 尧勒甸子村试区土壤性状及其改良利用. 见:刘新民,赵哈林主编. 科尔沁沙地生态环境综合整治研究. 兰州:甘肃科技出版社, 1993. 65~ 72
- 李胜功,赵哈林,何宗颖. 灌溉与无灌溉大豆田的热量平衡. 兰州大学学报, 1997, 17(2): 133~ 138
- 张铜会,赵学勇. 沙地不同施肥量对玉米产量的影响. 中国沙漠, 1999, 19(增 1): 124~ 126
- 张铜会,崔建垣,赵哈林,等. 沙地影响玉米产量形成因子的量化研究. 中国沙漠, 2000, 20(增): 58~ 61
- 崔建垣,张铜会,李玉霖. 沙地玉米孕穗期和开花期土壤水分与产量关系的研究. 中国沙漠, 2000, 20(增): 62~ 64

8. 杨武德, 王兆骞, 睦国平, 等. 土壤侵蚀对土壤肥力及土地生物生产力的影响. 应用生态学报, 1999, 10(2): 175~178
9. 刘新民, 赵哈林主编. 科尔沁风沙环境与植被. 北京: 科学出版社, 1996. 110~146
10. 赵哈林, 黄学文. 科尔沁沙地农田沙漠化机理. 见: 刘新民, 赵哈林主编. 科尔沁沙地生态环境综合整治研究. 兰州: 甘肃科技出版社, 1993. 164~200
11. 赵爱芬, 张铜会, 赵学勇. 不同水肥处理的沙地玉米生长特征. 中国沙漠, 1999, 19(1): 92~94

SOIL ENVIRONMENT AND PRODUCTIVITY FORMATION PROCESS OF CORN IN FIVE TYPES OF FARMLAND OF HORQIN SANDY LAND

Zhao Ha-lin Zhang Tong-hui Zhou Rui-lian

(Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute,
Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Summary

A field experiment was conducted on soil environment and productivity formation process of corn in 5 major types of farmlands of Horqin. Results show that: (1) in terms of average soil water content during the growth period of corn the 5 main types of cropland were in the order of irrigated sandy loam (A, 12.4%) > irrigated loam sandy soil (E, 9.50%) > dry slop land of sandy loam (B, 8.87%) > dry land of sandy loam (C, 6.55%) > dry land of sandy soil (D, 5.70%); of average soil temperature they were in the order of D (22.04 °C) > C (21.73 °C) > B (21.40 °C) > E (21.08 °C) > A (21.05 °C); and of integrated index of soil nutrients they were A (93.9) > C (84.3) > E (84.2) > B (65.3) > D (48.4); (2) in terms of plant height (cm) and biomass (kg m^{-2}) of corn they were in a sequence of E (270, 2.96) > A (245, 2.70) > B (225, 2.12) > C (220, 1.86) > D (181, 1.32); (3) Correlation coefficients between biomass and soil indexes were in such an order as N, P, K ($R=0.860$) > soil moisture ($R=0.837$) > soil organic matter ($R=0.753$).

Key words Horqin sandland, Sandy farmland, Soil environment, Productivity