

根系生长空间对玉米生长和养分吸收的影响

宋 日,刘 利,吴春胜,马丽艳

(吉林农业大学 农学院,吉林 长春 130118)

[摘 要] **【目的】**研究根系生长空间对玉米植株生长、养分吸收及产量的影响。**【方法】**采用根箱限根的方法,使玉米根系生长空间分别为 25,50,75 和 100 L/株。分别在玉米大喇叭口期和吐丝期取样,测定其生长和养分吸收状况,在生理成熟时测定产量及其构成因素。**【结果】**与无限制根系生长空间(100 L/株)处理相比,限制根区体积在生殖生长阶段(大喇叭口期—吐丝期)使玉米地上部和根系干质量显著降低($P<0.05$),在营养生长阶段(出苗—大喇叭口期)使玉米地上部干质量显著降低($P<0.05$);在营养生长和生殖生长阶段,使玉米植株氮浓度、含氮量和含磷量及氮养分比吸收率显著下降($P<0.05$),但对磷养分比吸收率没有显著影响;玉米籽粒产量随根区体积的增加而提高。**【结论】**限制根区体积可抑制玉米根系下扎,导致过多根系充满 0~20 cm 表层土壤孔隙,使玉米根系生长受抑制,N 吸收效率下降。

[关键词] 玉米;根系生长空间;吸氮率

[中图分类号] S513.01

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2009)06-0058-07

Effects of root growth space on growth and N and P uptake in corn (*Zea mays* L.)

SONG Ri, LIU Li, WU Chun-sheng, MA Li-yan

(College of Agronomy, Jilin Agricultural University, Changchun, Jilin 130118, China)

Abstract: **【Objective】** The influence of confinement of root growing space of corn (*Zea mays* L.) upon plant growth, N and P uptake and crop yield in corn was discussed. **【Method】** Soil culture was carried out with the corn planted in different volume containers (25, 50, 75 and 100 L/plant) to confine the space of root growth by using root boxes. Samples were taken at male tetrad and at silking stage. Dry weight, N and P concentrations and contents of shoot and root in corn were measured. Grain yield and its components were measured at the physiological maturity. **【Result】** From emergence to male tetrad and from male tetrad to silking shoot specific dry weight increment, N and P specific absorption rate were calculated. Restriction of root growth space reduced shoot and root growth ($P<0.05$) at silking stage, while it reduced only shoot growth ($P<0.05$) at tetrad stage. At both stages, restriction of root growth space decreased N concentration and N and P content, reduced recovery of both nutrients, decreased N specific absorption rate ($P<0.05$), but did not affect P specific absorption rate. Corn grain yield increased with the increase of root growth space. **【Conclusion】** This showed that the restriction in root zone volume results in a high root density in the surface soil layer, so a high percentage of soil pores fills mass roots and root growth and nutrient uptake efficiency are also reduced.

Key words: corn (*Zea mays* L.); root growth space; N uptake efficiency

* [收稿日期] 2009-02-04

[基金项目] 国家自然科学基金项目(30871487);国家丰粮工程项目(30375647);玉米节本增效技术研究项目(472891)

[作者简介] 宋 日(1966—),男,吉林前郭人,副教授,博士,主要从事根系生理生态及农业生态研究。

E-mail: songri2003@yahoo.com.cn

土壤是作物生长发育的重要介质,作物根系可利用土壤空间体积的大小对其获得足够养分及水分非常重要。然而,不良的土壤条件,如犁底层硬、耕层浅、土壤过于紧实及土层薄等均会使作物根系的生长空间受到限制,进而影响作物对养分和水分的吸收及产量的形成,降低土壤生产力^[1-5]。目前,关于限制根系生长空间对作物影响的研究,已有不少报道^[6-10],但其确切的机制尚不完全清楚,而且多数有关限制根系生长空间的研究,是在通气营养液或体积较小的容器中进行的,对作物的观察也是在生长发育的早期进行(一般为出苗后 20~30 d)。通气营养液和土壤介质性质差别很大;作物在不同生长发育阶段,对生长环境的反应也不尽相同。本研究采用根箱限根的方法,探讨根系生长空间对营养生长阶段和生殖生长阶段玉米的生长发育、产量及养分吸收的影响,以明确根系生长合理的空间范围,为农业生产实践提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在吉林大学温室内进行,选用 Pioneer 31N28 和 Pioneer 34N16 2 个玉米品种、4 个根系体积、3 个收获时期(玉米大喇叭口期、吐丝期和生理成熟期)进行试验。试验采用随机区组设计,3 次重复,72 个限根箱排列成 4 行,每行 18 个,间隔 10 cm。限根箱体积分别为 50,100,150 和 200 L,50 L 限根箱底面积为 0.25 m² (0.5 m×0.5 m),高度为 0.2 m;100,150 和 200 L 限根箱由 50 L 的单个箱子按不同个数叠加构成,高度分别为 0.4,0.6 和 0.8 m,箱子用 PVC 材料制作,其间以孔径 5 mm 的塑料纱网隔离,以便分开测每箱根系,根系生长容易通过纱网。将限根箱埋进蛭石中,每个底部加铺玻璃绒以防根系长出容器而进入蛭石中。限根箱填土压实,使土壤容重接近田间自然水平(1.43 Mg/m³),土壤理化性质为:含砂 75.0%,粉粒 18.0%,粘粒 7.0%,pH 6.9,有机质 16.9 g/kg,全氮 1.6 g/kg, P₂O₅ 14.8 mg/kg, K₂O 16.6 g/kg。田间持水量 13.1%。氮肥为尿素,磷肥为磷酸二铵,钾肥为 K₂SO₄,肥料按 N 280 kg/hm²、P₂O₅ 140 kg/hm²、K₂O 140 kg/hm² 的施肥量在播种前均匀施入 0~20 cm 土层中(折合每株玉米施 3.5 g N,1.75 g P₂O₅,1.75 g K₂O)。每限根箱播种 5 粒玉米种子,出苗后间苗,留苗 2 株/箱(8 万株/hm²),这样种植

于 50,100,150 和 200 L 限根箱中的玉米,每株分别可获得 25,50,75 和 100 L 根区体积(分别记为 V₂₅, V₅₀, V₇₅ 和 V₁₀₀ 处理),以 V₁₀₀ 为对照。试验期间,通过滴灌满足玉米水分需要,保持土壤含水量接近田间持水量的 80%,以确保没有缺水限制又没有淋失发生。温室气候条件:玉米灌浆期前昼、夜气温分别为(26±2)和(20±2)℃,籽粒成熟后分别为(22±2)和(18±2)℃,16 h 光周期,通过太阳光和人工辅助光提供>600 μmol/(m²·s)的光合有效辐射。

1.2 测定指标及方法

在玉米大喇叭口期和吐丝期取样,测定其地上部干质量、20 cm 土层内根系干质量以及植株 N 和 P 浓度、含 N 量和含 P 量;在玉米生理成熟期测定籽粒产量及其构成因素,计算产量(含水量以 18% 计)。玉米植株 N 浓度和含 N 量采用凯氏定氮法^[11]测定;P 浓度和含 P 量采用钼锑抗比色法测定;地上部比干质量增加量采用 Engels^[12]的方法测定;N 和 P 养分比吸收率(指每 g 根系干质量吸收 N 和 P 的 mg 数)采用 Hunt^[13]的方法测定;计算 N 肥和 P 肥吸收效率(指玉米植株吸收 N 和 P 量占施用量的百分率);根系干质量测定:将根系样品放入 105℃烘箱中烘 2 h,然后在 75℃烘箱中烘干至质量恒定后称其质量,并计算根系密度(指每 L 土壤体积的根系干质量);叶面积用叶面积仪测定。

1.3 数据处理

试验数据的分析作图、方差计算使用 Microsoft Excel 2000 进行。方差分析发现,玉米品种和根区体积间不存在显著的交互作用,而且 2 个玉米品种间各指标也不存在显著差异,所以本研究的测定结果取 2 个玉米品种的平均值。

2 结果与分析

2.1 根系生长空间对玉米植株生长和籽粒产量的影响

表 1 表明,玉米籽粒产量随根区体积的增大而呈线性增加,V₁₀₀的籽粒产量较 V₂₅提高了 68%,玉米籽粒产量的增加是由于根区体积的增大,使每株籽粒数和百粒质量共同增加的缘故。

由表 2 可以看出,在大喇叭口期,V₅₀、V₇₅ 和 V₁₀₀ 处理之间地上部干质量差异不显著,但均显著高于 V₂₅ 处理;在玉米吐丝期,地上部干质量随根区体积的增加而逐渐增大,与 V₂₅ 相比,V₁₀₀ 地上部干质量增加 27.7%;与大喇叭口期相比,吐丝期 V₂₅ 和 V₅₀ 的地上部干质量均增加约 138 g/株,V₇₅ 和 V₁₀₀

分别增加 163 和 181 g/株。

在大喇叭口期,根系干质量未受到根区体积的影响;在吐丝期, V_{50} 、 V_{75} 和 V_{100} 的根系干质量较 V_{25} 略有增加(表 2),其中 V_{100} 较 V_{25} 增加了 28.9%;从大喇叭口期到吐丝期, V_{25} 和 V_{50} 的根系干质量均

增加约 13 g/株, V_{75} 和 V_{100} 的根系干质量分别增加约 18 和 24 g/株。在玉米大喇叭口期和吐丝期,无论根区体积受限程度如何,60%以上根系干质量分布在 0~20 cm 的表层土, V_{50} 、 V_{75} 和 V_{100} 的 0~20 cm 表层土根系干质量接近,且均小于 V_{25} (图 1)。

表 1 根系生长空间对玉米籽粒产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of root growth space on corn yield and yield components

处理 Treatment	籽粒产量/(g·株 ⁻¹) Grain yield	百粒质量/g 100-kernel weight	每株籽粒数 Kernel per plant
V_{25}	133.5±9.8 a	23.72±2.31 a	563±36 a
V_{50}	170.5±11.2 b	28.61±2.01 b	596±41 b
V_{75}	189.9±13.6 c	29.13±2.21 b	652±40 c
V_{100}	224.4±16.4 d	30.61±2.36 c	733±46 d

注:同列数据后标不同小写字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。下表同。
Note: The different letters in the same column at the same stage indicatet significant difference at $P<0.05$ level. The same with below.

从表 2 还可知,从大喇叭口期到吐丝期,玉米根系密度增加, V_{25} 的增加量约为 V_{50} 、 V_{75} 和 V_{100} 增加量的 2 倍;在 2 个生育期,根系密度均随根区体积的增加而降低,从 V_{25} 到 V_{50} 降低幅度较大,从 V_{50} 到

V_{75} 和 V_{100} 降低幅度较小。最高根系密度出现 0~20 cm 的表层土壤,在吐丝期该土层最大根系密度可达 1 412.2 mg/L。

表 2 根系生长空间对玉米不同发育阶段生长发育的影响

Table 2 Effects of root growth space on corn growth and development at different stages

发育阶段 Stage	处理 Treatment	地上部干质量/ (g·株 ⁻¹) Shoot dry weight	根系干质量/ (g·株 ⁻¹) Root dry weight	冠根比/ Shoot/root ratio	叶面积/ (cm ² ·株 ⁻¹) Leaf area	根系密度/ (mg·L ⁻¹) Root density
大喇叭口期 Male tetrad	V_{25}	84.6±7.6 a	22.7±1.5 a	3.73±0.15 a	0.616±0.102 a	907.5±42.0 a
	V_{50}	99.6±11.1 b	21.6±1.3 a	4.61±0.14 b	0.664±0.110 ab	431.2±26.7 b
	V_{75}	108.4±10.6 b	23.1±1.0 a	4.69±0.18 b	0.748±0.121 b	309.1±20.7 c
	V_{100}	106.8±9.7 b	22.0±1.4 a	4.85±0.17 b	0.747±0.117 b	220.0±18.8 d
吐丝期 Silking	V_{25}	223.6±16.4 a	35.3±2.2 a	6.33±0.23 a	0.564±0.116 a	1 412.4±107.2 a
	V_{50}	237.6±13.9 b	35.1±1.9 a	6.77±0.26 a	0.651±0.123 ab	702.9±38.2 b
	V_{75}	271.8±16.2 c	41.4±2.4 b	6.57±0.25 a	0.691±0.118 b	551.1±28.0 c
	V_{100}	288.2±17.7 d	46.0±2.7 c	6.27±0.23 a	0.727±0.226 b	459.8±27.1 d

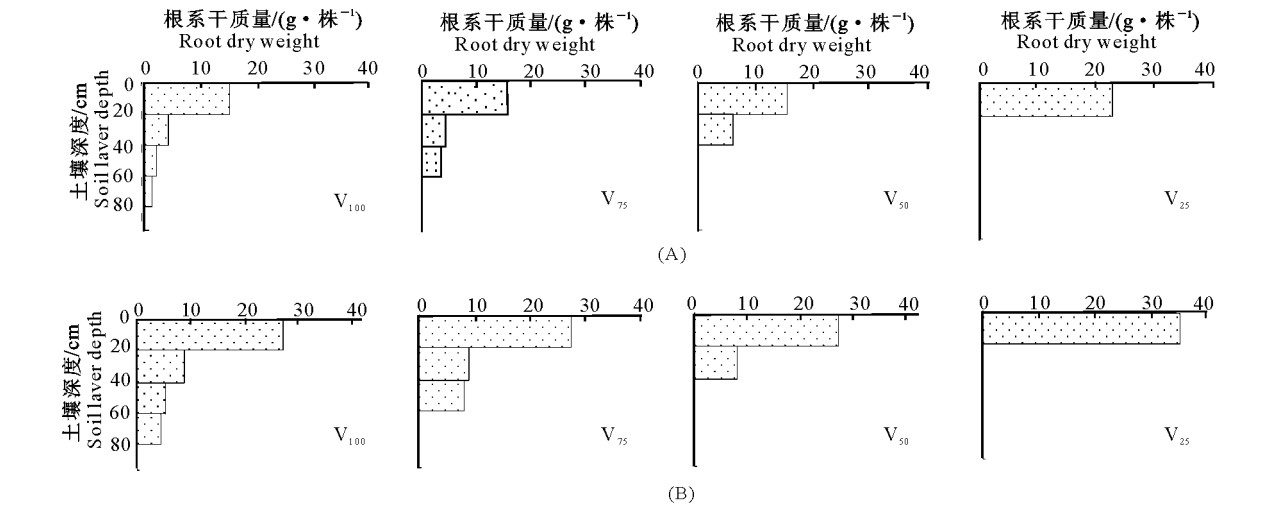


图 1 根系生长空间对玉米大喇叭口期(A)和吐丝期(B)不同土层深度根系干质量的影响
Fig.1 Effects of root growth space on root dry weight in different soil layer depths at male tetrad stage (A) and silking stage (B) in corn

根区体积对玉米干物质分配没有明显影响,大喇叭口期,减小根区体积使玉米地上部干质量略有降低,根系干质量未受影响,V₂₅的冠根比为 3.73,V₅₀、V₇₅和 V₁₀₀的冠根比约为 4.7;吐丝期,玉米冠根比为 6.27~6.77,受根区体积的影响不显著(表 2)。大喇叭口期和吐丝期玉米的叶面积随根区体积的增加而逐渐增大,从 V₂₅到 V₁₀₀,大喇叭口期叶面积增加 21.3%,吐丝期增加 28.9%(表 2)。

2.2 根系生长空间对玉米 N、P 浓度和含量的影响

由表 3 可看出,玉米地上部和根系的 N 浓度均随着根区体积的增加而逐渐提高,在大喇叭口期和吐丝期,V₁₀₀地上部 N 浓度较 V₂₅分别增加 6.7 和 6.3 g/kg,根系 N 浓度分别增加 5.5 和 7.3 g/kg;玉米地上部和根系的含 N 量均随根区体积的增加

而呈增大的趋势,与 V₂₅相比,在大喇叭口期和吐丝期,V₁₀₀地上部含 N 量分别增加了 70%和 116%,根系含 N 量分别增加了 57%和 158%。在根区体积受限制的条件下,玉米植株 N 浓度和 N 吸收量降低,导致玉米生长受到抑制。

由表 3 还可以看出,随玉米根区体积的增加,吐丝期地上部 P 浓度提高,V₁₀₀较 V₂₅增加了 0.5 g/kg,根系 P 浓度变化不明显;大喇叭口期地上部和根系 P 浓度变化也不明显。玉米地上部含 P 量,在大喇叭口期受根区体积影响较小;在吐丝期受根区体积影响明显,地上部含 P 量随根区体积的增加而逐渐增大,V₁₀₀较 V₂₅提高 77.7%。玉米根系含 P 量,在大喇叭口期受根区体积影响不显著;在吐丝期影响显著,V₁₀₀较 V₂₅提高了 82.8%(表 3)。

表 3 根系生长空间对不同发育阶段玉米植株地上部和根系 N、P 浓度及含量的影响
Table 3 Effects of root growth space on N,P concentration and content at different stages

发育阶段 Stage	处理 Treatment	N				P			
		浓度/(g·kg ⁻¹) Concentration		含量/(mg·株 ⁻¹) Content		浓度/(g·kg ⁻¹) Concentration		含量/(mg·株 ⁻¹) Content	
		地上部 Shoot	根系 Root	地上部 Shoot	根系 Root	地上部 Shoot	根系 Root	地上部 Shoot	根系 Root
大喇叭口期 Male tetrade	V ₂₅	19.3±0.6 a	11.1±0.2 a	1.48±0.06 a	0.23±0.02 a	2.5±0.2 a	1.4±0.2 a	191±17 a	30±4 a
	V ₅₀	21.9±1.2 ab	13.6±0.2 b	1.98±0.08 b	0.27±0.01 b	2.6±0.2 a	1.4±0.1 a	239±26 b	29±2 a
	V ₇₅	23.7±1.1 bc	15.1±0.4 b	2.32±0.14 c	0.32±0.03 c	2.5±0.3 a	1.5±0.2 a	248±24 b	32±5 a
	V ₁₀₀	26.0±1.5 c	16.6±0.6 c	2.52±0.17 d	0.36±0.03 d	2.5±0.2 a	1.7±0.4 a	250±27 b	33±4 a
吐丝期 Silking	V ₂₅	9.5±0.2 a	7.6±0.1 a	1.92±0.06 a	0.24±0.04 a	1.3±0.1 a	0.9±0.1 a	260±26 a	29±4 a
	V ₅₀	11.4±0.4 a	9.7±0.4 a	2.46±0.11 b	0.31±0.06 b	1.5±0.3 ab	1.0±0.1 a	343±31 b	33±3 a
	V ₇₅	14.3±0.7 b	12.4±0.6 b	3.53±0.14 c	0.46±0.07 c	1.7±0.2 b	1.2±0.3 a	417±38 c	45±6 b
	V ₁₀₀	15.8±0.5 b	14.9±1.0 c	4.14±0.19 d	0.62±0.07 d	1.8±0.4 c	1.2±0.3 a	462±37 d	53±9 b

表 4 表明,在玉米不同发育阶段各深度土层内,根系 N 浓度随根区体积和土层深度的增大而提高,根系 N 浓度最低值出现在 V₂₅的表层 0~20 cm 土壤中,最大值出现在 V₁₀₀的 60~80 cm 土层中;在大喇叭口期和吐丝期,根系 N 浓度最低值与最高值的

差距分别为 11.6 和 8.9 g/kg。根区体积和土层深度对根系 P 浓度的影响规律与 N 浓度基本一致;在大喇叭口期和吐丝期,根系 P 浓度最小值与最大值的差距分别为 0.5 和 0.6 g/kg。

表 4 根系生长空间对不同生长发育阶段和不同土层玉米根系 N、P 浓度的影响
Table 4 Effects of root growth space on N, P concentration of root in different depths at different corn stages g/kg

发育阶段 Stage	处理 Treatment	N 浓度 N concentration				P 浓度 P concentration			
		0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm	0~20 cm	20~40 cm	40~60 cm	60~80 cm
大喇叭口期 Male tetrade	V ₂₅	11.1±0.3 a	—	—	—	1.4±0.2 a	—	—	—
	V ₅₀	13.4±0.5 b	14.4±0.6 a	—	—	1.5±0.1 a	1.4±0.2 a	—	—
	V ₇₅	13.6±0.4 b	17.7±0.9 b	18.5±0.7 a	—	1.4±0.2 a	1.8±0.3 b	1.7±0.3 a	—
	V ₁₀₀	14.2±0.3 c	19.8±1.1 b	19.8±0.9 b	22.7±1.5	1.5±0.1 a	1.9±0.5 b	1.8±0.4 a	1.9±0.7
吐丝期 Silking	V ₂₅	9.8±0.1 a	—	—	—	0.9±0.2 a	—	—	—
	V ₅₀	9.0±0.2 a	11.6±0.3 a	—	—	1.0±0.1 ab	1.2±0.3 a	—	—
	V ₇₅	11.6±0.5 ab	13.9±0.5 b	14.1±0.5 a	—	1.1±0.2 b	1.5±0.2 b	1.3±0.3 a	—
	V ₁₀₀	12.5±0.5 b	16.4±0.6 c	19.3±1.1 b	18.7±0.8	1.1±0.2 b	1.7±0.4 b	1.5±0.2 b	1.5±0.4

试验中发现,玉米植株根区体积对 N 在根、茎、果穗等器官中的分配比例没有影响,对 P 的分配比例影响较小,减少根区体积可略微增加大喇叭口期

叶片和吐丝期果穗中的 P 比例。

由表 5 可以看出,玉米 N 肥吸收效率受根区体积的影响显著,大喇叭口期和吐丝期 V₁₀₀ N 肥吸收

效率较 V₂₅ 分别提高了 60% 和 56%;P 肥吸收效率 肥吸收效率较 V₂₅ 分别增加了 21% 和 27%。
受根区体积影响较小,大喇叭口期和吐丝期 V₁₀₀ P

表 5 根系生长空间对不同发育阶段玉米 N 肥和 P 肥吸收效率的影响

Table 5 Effects of root growth space on N fertilizer and P fertilizer uptake efficiency at different stages %				
处理 Treatment	N 吸收效率 N uptake efficiency		P 吸收效率 P uptake efficiency	
	大喇叭口期 Male tetrade	吐丝期 Silking	大喇叭口期 Male tetrade	大喇叭口期 Male tetrade
V ₂₅	45.5±3.6 a	50.5±4.5 a	11.8±0.5 a	14.4±0.8 a
V ₅₀	55.2±4.2 b	65.2±5.6 b	13.2±0.6 ab	15.5±1.2 a
V ₇₅	70.5±5.5 c	72.2±8.2 c	13.9±0.8 ab	17.6±1.5 b
V ₁₀₀	76.0±6.0 d	78.9±8.5 d	14.3±0.7 b	18.3±1.8 b

地上部比干质量增加量表示每单位根干质量增加地上部干物质的质量,可用于定量每单位根系干质量增加地上部物质所需要的养分量^[12]。由表 6 可知,出苗一大喇叭口期玉米地上部比干质量增加量显著高于大喇叭口期一吐丝期,出苗一大喇叭口期 V₁₀₀ 地上部比干质量增加量较 V₂₅ 增加了 87.4 mg/g,大喇叭口期一吐丝期增加了 37.2 mg/g。出苗一大喇叭口期,V₅₀、V₇₅ 和 V₁₀₀ 之间及大喇叭口期一吐丝期的 V₂₅、V₅₀ 和 V₇₅ 之间,地上部比干质量增

加量未达统计学意义上的差异。

养分比吸收率是影响根系养分吸收能力的一个重要因素。由表 6 还可知,出苗一大喇叭口期玉米 N 和 P 养分比吸收率约为大喇叭口期一吐丝期的 3~8 倍;在营养生长期(出苗一大喇叭口期)和生殖生长期(大喇叭口期一吐丝期),玉米 N 养分比吸收率随根区体积的增大而逐渐增高,V₁₀₀ 较 V₂₅ N 养分比吸收率分别增加 4.4 和 2.2 mg/g;但 P 养分比吸收率未受根区体积影响。

表 6 根系生长空间对玉米不同发育阶段地上部比干质量增加量及 N 和 P 养分比吸收率的影响

Table 6 Effects of root growth space on shoot specific dry weight increment and N, P specific absorption rate at different stages mg/g				
发育阶段 Stage	处理 Treatment	比干质量增加量 Specific dry weight increment	养分比吸收率 Specific absorption rate	
			N	P
出苗一大喇叭口期 Emergence-male tetrade	V ₂₅	302.7±8.9 a	6.1±0.3 a	0.8±0.1 a
	V ₅₀	369.1±9.5 b	8.4±0.5 b	1.0±0.2 b
	V ₇₅	382.7±9.8 b	9.4±0.7 c	1.0±0.1 b
	V ₁₀₀	390.1±10.2 b	10.5±0.6 d	1.0±0.1 b
大喇叭口期一吐丝期 Male tetrade-silking	V ₂₅	255.1±6.0 a	0.9±0.2 a	0.1±0 a
	V ₅₀	260.3±7.5 a	1.0±0.2 a	0.2±0 a
	V ₇₅	271.5±8.0 a	2.2±0.4 b	0.3±0 a
	V ₁₀₀	292.3±7.6 b	3.1±0.6 b	0.3±0 a

3 结论与讨论

本研究结果表明,限制玉米根区体积可增加上层土壤的根系密度,降低其 N 养分比吸收率和 N 吸收量及其籽粒产量。有研究表明,干旱胁迫影响养分吸收^[6,14-16],抑制作物生长。在本研究中,玉米植株得到充足水分供应,不存在干旱胁迫,所以限制根区体积引起玉米生长和养分吸收受抑制,不应归因于干旱胁迫。

限制根区体积对玉米生长的影响主要表现在根系干质量和根系空间分布 2 方面。本研究发现,在玉米不同生长发育阶段,限制根区体积对根系干质量的影响并不相同。从出苗到大喇叭口期,限制根区体积对玉米根系干质量影响不大;从大喇叭口期

到吐丝期,限制根区体积使根系干质量显著降低。表明在玉米营养生长阶段,限制根区体积对根系生长没有影响,但在生殖生长阶段对根系生长有抑制作用。根系干质量大小与 N 养分比吸收率密切相关,本研究表明,限制根区体积,玉米生殖生长阶段的 N 养分比吸收效率是对照的 50%。限制根区体积对玉米根系空间分布的影响,表现为显著增加了玉米营养生长期和生殖生长期 0~20 cm 表层土壤的根系密度,这是以往研究极少关注的。Asady 等^[17]研究表明,当植物根系体积占土壤孔隙体积的 5% 时,O₂ 消耗率明显超过供应率,导致 O₂ 扩散降低。通常在田间条件下,上层土壤玉米根系密度约为 350 mg/L^[7],在本研究中,V₅₀、V₇₅ 和 V₁₀₀ 的上层土壤中根系密度是田间的 3 倍,V₂₅ 几乎是田间的 5

倍。上层土壤根系密度的增加,降低了土壤中 O_2 的供应和扩散,并且土壤含水量保持在接近田间持水量状态,因此土壤通气性进一步恶化,导致玉米养分吸收效率降低。

限制根区体积导致玉米 N 和 P 养分吸收效率降低,这与宋海星等^[8]及张永清等^[9]报道的结果一致。本研究结果表明,限制根区体积,降低了玉米营养生长和生殖生长阶段植株的氮浓度、含氮量、含磷量和氮养分比吸收率,使吐丝期玉米地上部和根系 N 浓度较 V_{100} 降低 9.5%~39.8%,N 养分比吸收率降低 16.8%~49.0%,表明限制玉米根区体积可导致植株养分吸收量下降。这主要是由于限制根区体积,阻碍了玉米根系生长,增加了上层土壤的根系密度,使大量根系生长于土壤孔隙中,造成土壤氧气扩散降低,进而使玉米根系生长和养分吸收量下降;限制根区体积使玉米根系干质量下降,导致 N 养分比吸收率降低。玉米植株可以吸收硝态氮和铵态氮,但前者是主要吸收形式,这是由于硝态氮在土壤溶液中有较强的移动性。微生物容易把铵态氮转化成硝态氮,但当土壤中氧气的有效性受到限制时,由铵态氮转化成硝态氮的氧化作用降低^[13],因此土壤通气性不良会导致土壤硝态氮浓度降低,降低氮在土壤中的移动性,减少玉米吸收氮的数量。

限制根区体积,在玉米吐丝期可抑制其地上部和根系的生长,而在大喇叭口期只抑制地上部生长;在玉米营养生长期和生殖生长期可使玉米植株 N 浓度、含 N 量及含 P 量急剧降低,使 N 养分比吸收率降低,引起玉米籽粒产量下降,但对玉米干物质、含 N 量及含 P 量的分布无明显影响。

Power 等^[18]研究认为,增加根区体积,可能是作物充分利用土体中氮素资源的一项重要措施,这充分表明保证适当根系生长空间对玉米生长的重要性。在玉米高密度种植实践中,深耕打破犁底层,结合施用硝态 N 肥有利于改善玉米根系在空间胁迫下的生长状况,提高吸 N 率,减轻因根系生长空间限制所造成的不良影响。

[参考文献]

[1] 李潮海,李胜利,王 群,等. 下层土壤容重对玉米根系生长及吸收活力的影响 [J]. 中国农业科学,2005,38(8):1706-1711.
Li C H, Li S L, Wang Q, et al. A study on corn root growth and activities at different soil layers with special bulk density [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(8): 1706-1711. (in Chinese)

[2] 王空军,郑洪建,刘开昌,等. 我国玉米品种更替过程中根系时

空分布特性的演变 [J]. 植物生态学报,2001,25(4):472-475.
Wang K J, Zheng H J, Liu K C, et al. Evolution on of maize root distribution in space-time during maize varieties replacing in China [J]. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(4): 472-475. (in Chinese)

[3] 李少昆,图华玉,张旺峰,等. 玉米根系在土壤中分布及其与地上部关系 [J]. 新疆农业科学,1992(3):99-103.
Li S K, Tu H Y, Zhang W F, et al. Distribution of root system in maize in soil and its correlation with tops [J]. Xinjiang Agricultural Science, 1992(3):99-103. (in Chinese)

[4] 苗果园,尹 均,张云亭,等. 我国北方主要作物根系研究 [J]. 作物学报,1998,24(1):1-6.
Miao G Y, Yin J, Zhang Y T, et al. Study on root growth of main crops in North China [J]. Acta Agronomica Sinica, 1998, 24(1):1-6. (in Chinese)

[5] 李潮海,梅沛沛,王 群. 底层土壤容重对玉米 N、P、K 吸收的影响 [J]. 中国农业科学,2007,40(7):1371-1378.
Li C H, Mei F F, Wang Q. Influences of soil bulk density in deep soil layers on absorption and distribution of nitrogen, phosphorous and potassium in maize (*Zea mays* L.) [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(7):1371-1378. (in Chinese)

[6] 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. (in Chinese)

[7] Camprostrini M. Effects of root volume restriction on growth and nutritional status of maize plants [J]. Agronomia, 2001 (1/2):27-32.

[8] 宋海星,李生秀. 根系生长空间对根系吸收特性影响 [J]. 中国农业科学,2003,36(8):899-904.
Song H X, Li S X. Effects of root growing space on its absorbing characteristics [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(8):899-904. (in Chinese)

[9] 张永清,苗果园. 根土空间对高粱根系生理特性及产量的影响 [J]. 应用生态学报,2006,17(4):635-639.
Zhang Y Q, Miao G Y. Effects of soil root growing space on root physiological characteristics and grain yield of sorghum [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(4): 635-639. (in Chinese)

[10] Carmi A. Effects of root zone volume and plant density on the vegetative and reproductive development of cotton [J]. Field Crops Research, 1986, 13:25-32.

[11] Nelson D W, Somers L E. Determination of total nitrogen in plant material [J]. Agronomy Journal, 1973, 65:109-112.

[12] Engels C. Difference between maize and wheat in growth-related nutrient demand and uptake of potassium and phosphorus at suboptimal root zone temperature [J]. Plant and Soil, 1993, 150:129-138.

[13] Hunt R. Plant Growth Analysis [M]. 2nd Edition. London: Edward Arnold Publ, 1981:45-67.

[14] 刘胜群,宋凤斌. 不同耐旱基因型玉米根系生理性状研究 [J]. 浙江大学学报:农业与生命科学版,2007,33(4):407-412.
Liu S Q, Song F B. Study on physiological character of root system between maize genotypes with different tolerance to drought [J]. Journal of Zhejiang University: Agric & Life Sci Edi,2007,33(4):407-412. (in Chinese)

[15] 韩希英,宋凤斌. 干旱胁迫对玉米根系生长和根际营养影响 [J]. 水土保持学报,2006,20(3):170-172.
Han X Y, Song F B. Effect of drought stress on root growth and rhizosphere nutrients of maize (*Zea mays* L.) [J]. Journal of Soil and Water Conservation,2006,20(3):170-172. (in Chinese)

[16] 孙庆泉,胡昌浩,董树亭,等. 我国不同年代玉米品种生育全程根系特性演化的研究 [J]. 作物学报,2003,29(5):642-645.
Sun Q Q, Hu C H, Dong S T, et al. Evolution of root characters during all growth stage of maize cultivars in different eras in China [J]. Acta Agronomica Sinica,2003,29(5):642-645. (in Chinese)

[17] Asady G H, Smucker A J M. Compaction and root modification of soil aeration [J]. Soil Sci Soc Am J,1989,53:251-254.

[18] Power J F, Merrill S D, Smith S J. Effect of soil thickness on nitrogen distribution and use by crested wheatgrass [J]. Soil Sci Soc Am J,1985,49:1461-1465.

(上接第 57 页)

[4] Pierce J G, Parsons T F. Glycoprotein hormones: structure and function [J]. Annu Rev Biochem,1981,50:465-495.

[5] 王爱华,李 宁,吴常信. 猪 $LH\beta$ 亚基基因的单核苷酸多态性研究 [J]. 遗传,2002,24(6):649-652.
WANG A H, LI N, WU C X. Study on the single nucleotide polymorphisms of the porcine $LH\beta$ gene [J]. Hereditas,2002,24(6):649-652. (in Chinese)

[6] Brown P, McNeilly J R, Allace M R, et al. Characterization of the ovine LH β -subunit gene: the promoter directs gonadotrope-specific express in transgenic mice [J]. Mol Cell Endocrinol,1993,93:157-165.

[7] Mellink C, Lahbib-Mansais Y, Yerle M, et al. PCR amplification and physical localization of the genes for pig FSH and $LH\beta$ [J]. Cytogenet Cell Genet,1995,70:224-227.

[8] Aggrey S E, Yao J, Sabour M P, et al. Arkers within the regulatory region of the growth hormone receptor gene and their association with milk related traits in Holsteins [J]. Hered,1999,90,148-151.

[9] 张付军,李 宁,陈永福,等. 猪 $LH\beta$ 及 LHR 位点的 $BamH$ I 多态性 [C]//第八次全国动物遗传育种学术讨论会论文集. 北京:中国农业科技出版社,1995:57-59.
Zhang F J, Li N, Chen Y F, et al. $BamH$ I polymorphism of $LH\beta$ and LHR gene of pig [C]//Eighth national symposium on animal genetics and breeding symposium. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House,1995:53-56. (in Chinese)

[10] 邓 铮. 促黄体素 β 亚基基因多态性及其与小尾寒羊高繁殖力关系的研究 [D]. 杭州:浙江大学,2002.
Deng Z. Study on the relationship between the polymorphism of luteinizing hormone β -subunit gene and the high productivity of xiaoweihanyang [D]. Hangzhou: Zhejiang University,2002. (in Chinese)

[11] 师庆伟,王希彪. 促黄体素(LH) β 亚基基因的单核苷酸多态性及其与猪繁殖性状的相关性 [J]. 江苏农业科学,2006(6):302-304.
Shi Q W, Wang X B. Polymorphism of $LH\beta$ gene and its relationship with litter size of pig [J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2006(6):302-304. (in Chinese)

[12] 储明星. 用候选基因法筛选太湖猪高繁殖力主效基因的研究进展 [J]. 中国畜牧杂志,2000,36(6):46-47.
Chu M X. Studies on candidate genes for high prolificacy of TaiHu pig [J]. Chinese Journal of Animal Science,2000,36(6):46-47. (in Chinese)

[13] 张付军,李 宁,陈永福,等. 猪种 $LH\beta$ 基因 5'端部分调控区的克隆及序列分析 [C]//第八次全国动物遗传育种学术讨论会论文集. 北京:中国农业科技出版社,1995:53-56.
Zhang F J, Li N, Chen Y F, et al. Cloning and sequence analysis of 5'flanking region of $LH\beta$ gene in different pig [C]//Eighth national symposium on animal genetics and breeding symposium. Beijing: China Agricultural Science and Technology Publishing House,1995:53-56. (in Chinese)

[14] 李 利,张红萍,吴登俊,等. 南江黄羊 $LH\beta$ 基因多态性与繁殖性能的相关性分析 [J]. 畜牧与兽医 2006,38(10):3-5
Li L, Zhang H P, Wu D J, et al. Relationship between polymorphism of $LH\beta$ gene and reproductive performance of Nanjiang-Huang goat [J]. Animal Husbandry & Veterinary Medicine,2006,38(10):3-5. (in Chinese)