

深松对春玉米根系分布及氮素 积累与利用的影响

张瑞富¹, 杨恒山¹, 张玉芹¹, 范秀艳¹,
刘 晶¹, 柳宝林², 薛新伟¹, 李丹丹¹

(1. 内蒙古民族大学农学院/内蒙古自治区饲用作物工程中心, 内蒙古 通辽 028042;
2. 内蒙古自治区兴安盟科尔沁右翼前旗农牧业局农业技术推广中心, 内蒙古 兴安盟 137423)

摘 要:2015—2016 年以先玉 335 和郑单 958 为试验材料, 设置深松+旋耕(S+R)和旋耕(R)2 个处理, 研究了深松对春玉米根系分布及氮素积累与利用的影响。结果表明:深松疏松了土壤, 有利于根系的生长, 促进根系下扎, 深松措施下先玉 335 和郑单 958 完熟期总根干重较旋耕处理分别提高了 7.35% 和 9.25%, 其中 20~40 cm 土层分别提高了 15.52% 和 24.07%, 30 cm 以下土层根条数和根幅明显增加。深松改善根系形态特征, 增加了根系与氮素的接触机会, 促进了春玉米对氮素的吸收和累积, 使单位重量根系氮素吸收量明显提高, 吐丝前 S+R 处理的先玉 335 和郑单 958 单位重量根系氮素吸收量较 R 处理分别提高了 11.22% 和 12.03%, 处理间差异达到了显著水平。S+R 处理的氮素吸收效率先玉 335 和郑单 958 较 R 处理分别提高 6.11~6.40 kg·kg⁻¹ 和 7.17~7.51 kg·kg⁻¹, 氮肥偏生产力分别提高了 3.86~8.00 kg·kg⁻¹ 和 5.40~9.86 kg·kg⁻¹, 氮素积累量分别提高了 33.73~35.66 kg·hm⁻¹ 和 27.85~36.61 kg·hm⁻¹。与先玉 335 相比, 郑单 958 对深松更为敏感。

关键词:深松; 春玉米; 根系形态特征; 产量; 氮素吸收效率

中图分类号:S513; S365 **文献标志码:**A

Effects of subsoiling on roots distribution and nitrogen accumulation and utilization of spring maize

ZHANG Ruifu¹, YANG Hengshan¹, ZHANG Yuqin¹, FAN Xiuyan¹,
LIU Jing¹, LIU Baolin², XUE Xinwei¹, LI Dandan¹

(1. College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Inner Mongolia Autonomous Region Forage Crop Engineering Technology Research Center, Tongliao, Inner Mongolia 028042, China;

2. Agricultural Technology Extension Center of Farming and Animal Husbandry Bureau of Horqin Right Front Banner, Hinggan League, Inner Mongolia 137423, China)

Abstract: The subsoiling plus rotary tillage (S+R) and rotary tillage (R) were studied for their effects on root distribution and nitrogen (N) accumulation and utilization of spring maize using Xianyu 335 and Zhengdan 958 as experimental materials from 2015 to 2016. The results showed as following. The subsoiling loosed soil and promoted the root system growing down. Compared with R, the total root dry weight of Xianyu 335 and Zhengdan 958 of S+R increased by 7.35% and 9.25%, respectively, among of which the total root dry weight increased by 15.52% and 24.07% in 20~40 cm soil layer and the root number and root width under 30 cm soil layer also increased significantly. The improvement of characteristics of root morphology increased the contact opportunity between root and N, which improved the N absorption and accumulation of spring maize and made the N uptake per unit weight root increased obviously. Compared with R, the N uptake per unit weight root of Xianyu 335 and Zhengdan 958 of S+R before silking stage increased by 11.22% and 12.03%, respectively, and the difference between treatments reached

收稿日期:2019-10-04

修回日期:2020-08-08

基金项目:内蒙古自然科学基金项目(2018LH03014);内蒙古民族大学博士科研启动基金项目(BS470);国家重点研发计划项目(2018YFD0300401)

作者简介:张瑞富(1979-),男,内蒙古赤峰人,博士,主要从事玉米高产栽培生理机制研究。E-mail:zhrfyk@126.com

通信作者:杨恒山(1967-),男,内蒙古兴和人,博士,主要从事作物高产高效栽培研究。E-mail:yanghengshan2003@aliyun.com

a significant level; the absorption efficiency of N of Xianyu 335 and Zhengdan 958 with S+R increased by 6.11~6.40 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 7.17~7.51 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, respectively. Partial productivity of N fertilizer with S+R increased by 3.86~8.00 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 5.40~9.86 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$; the N accumulation in the aboveground part with S+R increased by 33.73~35.66 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-1}$ and 27.85~36.61 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-1}$. Compared with Xianyu 335, Zhengdan 958 was more sensitive to subsoiling.

Keywords: subsoiling; spring maize; root morphological; yield; nitrogen absorption efficiency

西辽河平原灌区地处世界玉米生产黄金带,光热资源充足,井灌条件好,具有实现大面积高产的潜力和优势,是内蒙古自治区重要的商品玉米生产基地。由于长期采用旋耕灭茬作业,导致耕层变浅、犁底层加厚,严重限制了玉米产量潜力的发挥,因此高量施氮成为玉米生产上提高产量的主要措施,这不仅导致高产与高效的矛盾日渐突出,也进一步加大了生态安全风险。耕作措施通过改变土壤微环境而影响作物对养分的吸收与利用^[1-3],深松可以疏松土壤,打破犁底层,增加土壤孔隙度,蓄水保墒,有利于土壤养分的转化利用,可为作物生长创造良好土体环境,进而增强根系对养分和水分的吸收能力,提高肥料吸收利用效率和产量^[4-7]。刘明等^[8]研究表明,垄间隔行深松可以构建良好的耕层结构,有利于根系的固定和下扎,使根系更好地吸收水分和养分,倒伏率降低,玉米籽粒产量较旋耕处理提高 4.72%;赵亚丽等^[9]研究深松方式对砂姜黑土耕层特性、作物产量和水分利用效率的影响时指出,深松能够显著降低土壤紧实度,且降低了土壤三相与适宜状态下土壤三相在空间距离上的差值(R 值),促进作物根系生长,提高了作物产量和水分利用效率,与秋季旋耕相比,秋季深松土壤紧实度降低 20.90%,土壤三相 R 值降低 12.90%,冬小麦、夏玉米周年总产量增加 15.20%,周年水分利用效率增加 4.00%,经济效益增加 19.80%。研究深松对玉米氮素积累与转运的调控作用,可更好地协调土壤氮素供给与玉米生长发育对氮肥需求之间的关系,增加产量,提高氮肥吸收利用效率,有利于实现玉米栽培减氮增效和环境友好。前人关于深松的研究多集中在深松方式对土壤理化性状的改良^[10-11]、作物根系特征的改善^[12-13]以及深松与氮肥的互作效应^[14-15]上,有关深松对玉米氮素吸收调控的研究不多,尤其是不同玉米品种进行比较研究的报道相对较少。本研究采用定位试验,分析深松措施下春玉米根系时空分布及其氮素积累特征,以期为研究地区春玉米高产高效栽培提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验区自然概况

试验于 2015—2016 年在内蒙古通辽市开鲁县蔡家堡村(121°09'E, 43°35'N, 海拔 178 m)进行;试验区域为典型大陆性季风气候,土壤为灰色草甸黑土,是当地主要土壤类型。播前试验地耕层(0~20 cm)土壤养分 2015 年为有机质 19.30 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 0.66 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 48.71 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷 5.81 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 79.18 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;2016 年为有机质 20.69 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 0.71 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 38.28 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷 7.02 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 66.88 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

采用裂区设计,以耕作方式为主区,分别设深松+旋耕(S+R)处理和旋耕(R)处理,其中旋耕处理作业深度为 15 cm,深松+旋耕处理采用深松旋耕联合整地机实施,深松处理作业深度为 35 cm,深松+旋耕和旋耕作业分别在 2015 年 4 月 12 日和 2016 年 4 月 20 日进行;以品种为副区,分别为先玉 335(XY335)和郑单 958(ZD958),3 次重复,小区面积 360 m^2 (3.6 m×100 m),种植密度为 7.5×10^4 株· hm^{-2} ;各小区基施尿素(N)15 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、硫酸钾(K_2O)45 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、过磷酸钙(P_2O_5)125 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;追施尿素(N)356 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,分别在拔节期、大喇叭口期、吐丝期按 3:6:1 比例追施;生育期间浇水 4 次,每次灌溉量约为 900 $\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 产量及其构成因素 收获时各小区选取 48 m^2 (2.4 m×20 m)测产区,测量各测产区内有效穗数,取样测定籽粒含水率,并折算成含水率为 14%的产量。各小区分别取有代表性样穗 10 穗,进行穗部性状调查及考种。

1.3.2 生物量及地上部氮素积累量 在春玉米大口期、吐丝期和完熟期,各小区选择 3 个不同位置,作为 3 次重复,每个位置选择长势一致的玉米连续 3 株,地上部按器官分离(茎、叶、籽粒),用清水冲净,在干燥箱内 105℃ 杀青 30 min,继续在 80℃ 烘至恒重后,测定干物质重,烘干后样品用粉碎机粉碎,过 60 目筛, H_2SO_4 - H_2O_2 消煮后,使用凯氏定氮仪测

定全氮含量,并折算地上部氮素积累量。

1.3.3 根系生物量、根幅及根条数 吐丝期和完熟期地上部取完后,同株根系取样采用挖掘法,以第 1 株 1/2 株距处到第 3 株 1/2 株距处为长,以 1/2 行距为宽,挖长方形样方分层取根,每层 20 cm,大喇叭口期取根深度为 60 cm,其他生育时期取根深度均为 100 cm。洗净并剔除杂质,检出死根后于 105℃ 杀青 30 min,在 80℃ 下烘干至恒重,称其干质量。吐丝期将根挖出后,置于贴有坐标纸的平板上,观测植株根系,以齐地面处为起点,查 10、20 cm 和 30 cm 处单株根条数测定根幅(植株根系水平分布最大直径)。

1.4 相关参数计算^[16-18]

地上部氮素积累量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 器官氮含量(%) \times 器官干重(kg) \times 种植密度($\text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$);

单位根干重氮素吸收量($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) = 单株氮素积累量(mg)/单株根干重(g);

植株氮素吸收效率($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, *NUPE*) = 地上部氮素积累量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)/施纯氮量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$);

植株氮肥偏生产力($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$, *NFPF*) = 籽粒产量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)/施纯氮量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)。

1.5 数据处理与统计分析

使用 Excel 2016 进行数据处理并作图表,SPSS 19.0 进行数据统计分析,LSD 法检验处理间差异显

著性。

2 结果与分析

2.1 深松对春玉米根系特征的影响

2.1.1 对根系垂直分布的影响 根系是玉米生长发育和产量形成的基础,根干重在一定程度上能够反映根系的生长状况。由表 1 可见,2 个品种春玉米 0~20 cm 土层根干重处理之间变化规律不明显,除郑单 958 在完熟期处理间差异达到显著水平,其他处理之间差异均不显著,20~40 cm 土层不同处理之间均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,除郑单 958 在吐丝期处理间差异不显著外,其他处理之间的差异均达到了显著水平;从根系总干重来看,不同处理间均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,其中吐丝期处理间差异均不显著,而完熟期先玉 335 和郑单 958 深松+旋耕处理分别较旋耕处理提高了 7.35% 和 9.25%,处理间差异均达到了显著水平,说明深松对春玉米根系的影响主要表现在吐丝后,且随生育期的推移处理间差异逐渐增大,这主要是由于深松改善了土壤生态条件,有利于根系生理活性的保持,衰老延缓,从而使吐丝后的根干重较单独旋耕处理优势明显。从 2 个品种春玉米不同土层根干重占根系总干重的比例来看(表 2),0~20 cm 土层不同处理之间均表现为深松+旋耕低于旋

表 1 2016 年深松对春玉米不同土层根干重的影响/($\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$)

Table 1 Effect of subsoiling on root dry weight of spring maize in different soil layers in 2016/($\text{g} \cdot \text{plant}^{-1}$)

品种 Variety	生育时期 Growth stage	耕作方式 Tillage	土层深度 Soil depth/cm					总重 Total
			0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	
先玉 335 Xianyu 335	吐丝期 Silking stage	R	19.86a	0.73b	0.49a	0.29a	0.22a	21.59a
	完熟期 Maturity stage	S+R	19.52a	1.14a	0.47a	0.33a	0.21a	21.67a
郑单 958 Zhengdan 958	吐丝期 Silking stage	R	13.96a	0.58b	0.26b	0.20a	0.11a	15.11b
	完熟期 Maturity stage	S+R	14.85a	0.67a	0.34a	0.21a	0.15a	16.22a
先玉 335 Xianyu 335	吐丝期 Silking stage	R	19.71a	0.71a	0.38b	0.27b	0.10b	21.17a
	完熟期 Maturity stage	S+R	19.50a	0.76a	0.53a	0.42a	0.23a	21.44a
郑单 958 Zhengdan 958	吐丝期 Silking stage	R	13.88b	0.54b	0.23a	0.18a	0.09b	14.92b
	完熟期 Maturity stage	S+R	14.92a	0.67a	0.31a	0.24a	0.16a	16.30a

注:不同小写字母表示同一品种不同处理间差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters mean significant difference among different treatments of the same variety ($P<0.05$). The same below.

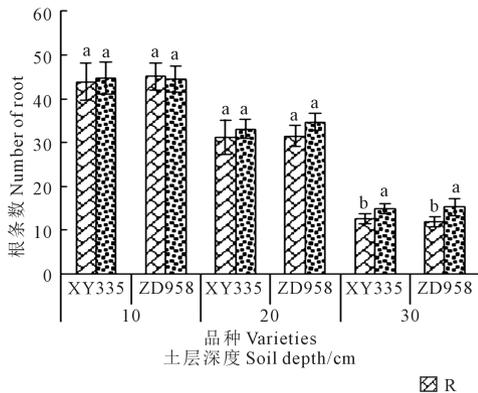
表 2 2016 年深松对春玉米不同土层根干重占总根干重比例的影响/%

Table 2 Effect of subsoiling on the proportions of root dry weight of spring maize in different soil layers in 2016

品种 Variety	生育时期 Growth stage	耕作方式 Tillage	土层深度 Soil depth/cm				
			0~20	20~40	40~60	60~80	80~100
先玉 335 Xianyu 335	吐丝期 Silking stage	R	91.99	3.38	2.27	1.34	1.02
	完熟期 Maturity stage	S+R	90.08	5.26	2.17	1.52	0.97
郑单 958 Zhengdan 958	吐丝期 Silking stage	R	92.39	3.84	1.72	1.32	0.73
	完熟期 Maturity stage	S+R	91.55	4.13	2.10	1.29	0.92
先玉 335 Xianyu 335	吐丝期 Silking stage	R	93.10	3.35	1.79	1.28	0.47
	完熟期 Maturity stage	S+R	90.95	3.54	2.47	1.96	1.07
郑单 958 Zhengdan 958	吐丝期 Silking stage	R	93.03	3.62	1.54	1.21	0.60
	完熟期 Maturity stage	S+R	91.53	4.11	1.90	1.47	0.98

耕处理,20~40 cm 土层则表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,这也说明,深松促进了春玉米根系下扎,深松措施下春玉米根系重心下移。

2.1.2 对根条数、根幅的影响 由图 1 可见,2 个品种春玉米根条数在 10 cm 土层处不同处理之间的变化规律不明显,处理间差异也不显著,20、30 cm 土层处均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,其中 20 cm 土层处不同处理之间的差异不显著,30 cm 土层处的差异均达到了显著水平,这也说明深松能够促进根系发生,且在深层根系上表现最为明显。从 2 个品种春玉米根幅来看,10、20 cm 土层处不同处理间变化规律不明显,而 30 cm 土层处 2 个品种春玉米均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,其中先玉 335 处理间差异不显著,郑单 958 处理间差异达到了显著水平,这也说明深松有利于提高郑单 958 深层根系的分布面积,对于其截获更多的营养元素非常有利。

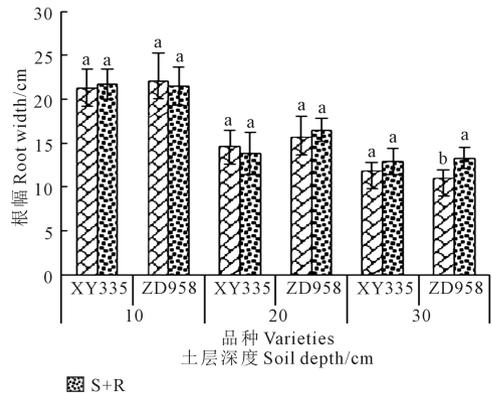


2.2 深松对春玉米单位根重氮素吸收量的影响

单位根重氮素吸收量能够反映根系对氮素的吸收能力。由图 2 可见,2 个品种春玉米单位根重氮素吸收量均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,其中吐丝前先玉 335 和郑单 958 深松+旋耕处理较旋耕处理分别提高了 11.22% 和 12.03%, 处理间差异均达到了显著水平;吐丝后先玉 335 深松+旋耕处理较旋耕处理提高了 4.49%, 处理间差异不显著,而郑单 958 深松+旋耕处理较旋耕处理提高了 8.05%, 处理间差异达到了显著水平,这也说明,深松能够提高春玉米根系的吸收能力,其中尤以吐丝前为甚,品种间郑单 958 表现更为明显。

2.3 深松对春玉米地上部氮素积累量的影响

由表 3 可见,不同耕作措施下 2 个品种春玉米氮素积累量均随生育进程的推移逐渐升高,不同处理间均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,其中大口期处理间差异均不显著,吐丝期仅 2015 年郑单



注:不同小写字母表示同一品种不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下同。

Note: Different lowercase letters mean significant difference among different treatments of the same variety ($P < 0.05$).

The same below.

图 1 深松对春玉米根条数、根幅的影响(2016 年,吐丝期)

Fig.1 Effect of subsoiling on root number and root width of spring maize (2016,Silking stage)

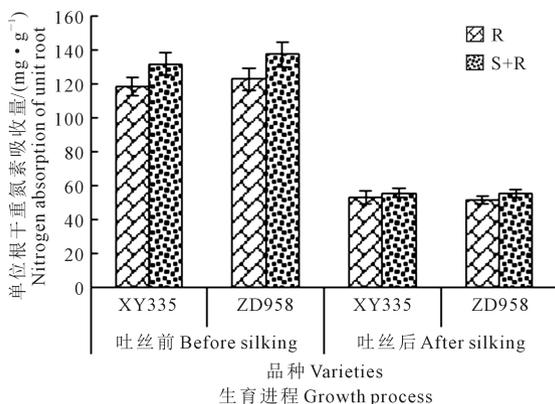


图 2 深松对春玉米单位根重氮素吸收量的影响(2016 年,吐丝期)

Fig.2 Effect of subsoiling on root number and root width of spring maize (2016,Silking stage)

958 处理间差异达到显著水平,而完熟期 2015 年先玉 335 和郑单 958 深松+旋耕处理较旋耕处理分别提高 33.73 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 27.85 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 处理间差异均达到了显著水平,2016 年郑单 958 深松+旋耕处理较旋耕处理提高 36.61 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 处理间差异亦达到显著水平,先玉 335 处理间差异不显著。

2.4 深松对春玉米籽粒产量的影响

由表 4 可见,2 个品种春玉米 2 a 的籽粒产量不同处理间变化规律一致,均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,其中先玉 335 在 2015 年处理间差异不显著,2016 年达到了显著水平,郑单 958 处理间差异在 2 a 间均达到了显著水平;有效穗数均表现为旋耕处理高于深松+旋耕处理,处理间差异均不

显著;穗粒数除先玉 335 在 2015 年旋耕处理略高于深松+旋耕处理外,其他处理均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,处理间差异均不显著;从千粒重的变化规律来看,不同处理间均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,除了先玉 335 在 2015 年处理间差异不显著外,其他处理之间的差异均达到了显著水平。

2.5 深松对春玉米氮素吸收效率的影响

由图 3 可见,不同耕作措施下 2 个品种春玉米氮素吸收效率 2 a 均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,其中 2015 年和 2016 年先玉 335 深松+旋耕处理较旋耕处理分别提高了 6.40 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 6.11 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$,处理间差异达到了显著水平;而郑单 958 深松+旋耕处理较旋耕处理分别提高了 7.51 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 7.17 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$,处理间差异亦达到了显著水平,说明深松有利于春玉米对氮素的吸收,品种间

以郑单 958 表现的尤为明显。2 个品种春玉米氮肥偏生产力不同处理间均表现为深松+旋耕处理高于旋耕处理,2015 年郑单 958 深松+旋耕处理较旋耕处理提高 5.40 $\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$,处理间差异达到了显著水平,先玉 335 处理间差异不显著;2016 年 2 个品种春玉米处理间差异均达到了显著水平。

3 讨论

作物对营养元素的吸收主要靠根系的直接接触而获得,因此,根系的形态特征对作物的营养元素吸收利用效率会产生明显影响,进而影响到产量。王敬锋等^[19]研究不同基因型玉米根系特性与氮素吸收利用的差异时指出,氮高效玉米品种整个生育期具有较大的根系干重、根冠比,且土壤深层根系的分布相对较多,后期根系活力强,有效地延长

表 3 深松对春玉米地上部氮素积累量的影响/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$
Table 3 Effect of subsoiling on N accumulation of spring maize

年份 Year	品种 Variety	耕作方式 Tillage	大口期 Trumpeting stage	吐丝期 Silking stage	完熟期 Maturity stage
2015	先玉 335	R	144.82a	186.98a	237.55b
	Xianyu 335	S+R	158.17a	209.78a	271.28a
	郑单 958	R	146.48a	191.73b	256.70b
	Zhengdan 958	S+R	162.02a	218.65a	284.55a
2016	先玉 335	R	147.70a	191.73a	246.11a
	Xianyu 335	S+R	162.95a	214.05a	281.77a
	郑单 958	R	150.96a	194.87a	252.45b
	Zhengdan 958	S+R	167.79a	221.09a	289.06a

表 4 深松对春玉米籽粒产量的影响

Table 4 Effect of subsoiling on grain yield of spring maize

年份 Year	品种 Variety	耕作方式 Tillage	有效穗数/ $(\times 10^4 \text{穗} \cdot \text{hm}^{-2})$ Effective spike $/(\times 10^4 \text{ ear} \cdot \text{hm}^{-2})$	穗粒数 Grain number per spike	千粒重/g 1000-kernel weight	实测产量/ $(\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$ Actual yield
2015	先玉 335	R	6.98a	469.36a	329.68a	10.86a
	Xianyu 335	S+R	6.87a	461.78a	346.31a	11.12a
	郑单 958	R	6.96a	478.68a	338.13b	11.01b
	Zhengdan 958	S+R	6.71a	496.96a	361.66a	11.93a
2016	先玉 335	R	6.95a	514.63a	321.25b	11.14b
	Xianyu 335	S+R	6.76a	545.22a	334.67a	11.99a
	郑单 958	R	6.76a	498.41a	333.36b	11.17b
	Zhengdan 958	S+R	6.67a	530.82a	354.75a	12.19a

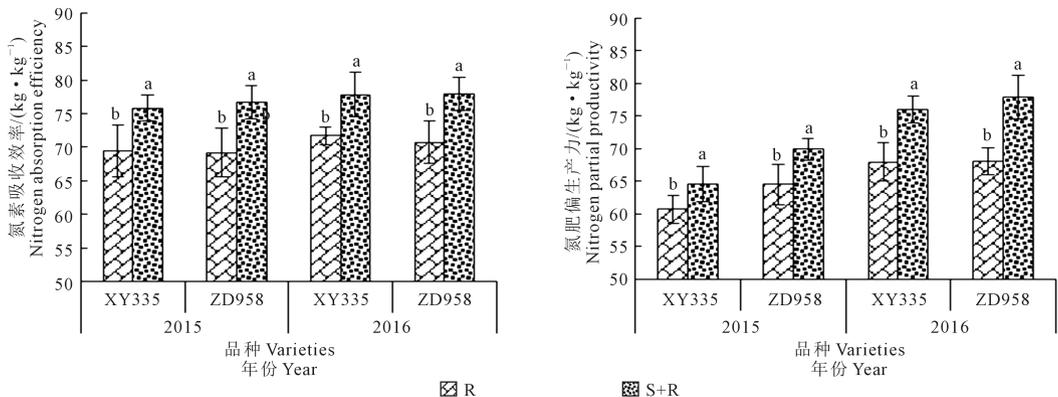


图 3 深松对春玉米氮素吸收利用的影响

Fig.3 Effect of subsoiling on N absorption and utilization of spring maize

了根系功能期,因而其氮素吸收利用效率高于氮低效品种;米国华等^[20-21]认为,增加30 cm以下土层中的根量,可以显著降低硝酸盐向深层的淋失损失,通过增加深层根系量,使玉米在生长中后期截获不断下移的硝酸盐,是进一步提高玉米氮素吸收利用效率的重要机制。关于玉米根系特征与氮素吸收利用效率的关系,前人的研究结论已经比较明确,深层根系总量多、根系表面积大、根条数多,是玉米氮素高效吸收利用的主要原因。有研究表明,深松可以打破犁底层,改善土壤物理结构,疏松土壤,从而减小根系穿透阻力,利于根系下扎,提高土壤中下层根系的生物量,增加玉米的总根长和总根表面积^[22]。植株的生长发育是地上和地下部协调发展的结果,地上部可为根系提供充足的光合产物,有利于根系良好形态结构和生理功能的建成,合理的根系分布可以获得较高肥料吸收效率和生物产量^[19,23]。本研究结果表明,郑单958和先玉335在深松+旋耕措施下,深层根系分布比例增加,30 cm土层处根幅增加、根条数增多。根系形态特征的改善,促进了地上部的生长,增加了根系与氮素的接触机会,有利于截获不断下移的硝酸盐,从而提高了2个品种春玉米的氮素吸收效率和籽粒产量。由于不同玉米品种对深松的响应不同,深松措施下郑单958根系的空间分布更为合理,活力更强,因而较先玉335表现出更高的氮素吸收效率。

不同玉米品种对深松的响应不同,肥料施用深度也会影响到作物对肥料的吸收利用效率。本研究仅探讨了在常规施氮深度下深松对2个品种春玉米根系形态特征以及氮素吸收效率的影响,进一步明确深松措施下氮肥分布与根系空间分布的匹配关系,对于进一步提高玉米氮素吸收利用效率具有重要意义。

4 结 论

深松提高了2个品种春玉米籽粒产量,深松措施下郑单958和先玉335分别较旋耕措施提高了8.36%~9.13%和2.39%~7.63%;深松提高了春玉米根系的纵深分布,使根系空间分布更加合理,促进了春玉米对氮素的吸收,提高了植株氮素积累量,使春玉米氮素吸收效率得以提高。深松是提高春玉米籽粒产量和氮效率的有效措施,由于郑单958和先玉335对深松的响应不同,因此表现出不同氮素吸收效率,其中郑单958深松措施较旋耕措施提高了7.17~7.51 kg·kg⁻¹,先玉335提高了6.11~6.40 kg·kg⁻¹。

参 考 文 献:

- [1] 周宝元,王新兵,王志敏,等.不同耕作方式下缓释肥对夏玉米产量及氮素利用效率的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(3):821-829.
- [2] Huang G B, Chai Q, Feng F X, et al. Effects of different tillage systems on soil properties, root growth, grain yield, and water use efficiency of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) in Arid Northwest China [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2011, 11(8): 1286-1296.
- [3] 周宝元,孙雪芳,丁在松,等.土壤耕作和施肥方式对夏玉米干物质积累与产量的影响[J].中国农业科学,2017,50(11):2129-2140.
- [4] 张总正,秦淑俊,李娜,等.深松和施氮对夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(4):790-798.
- [5] 王新兵,侯海鹏,周宝元,等.条带深松对不同密度玉米群体根系空间分布的调节效应[J].作物学报,2014,40(12):2136-2148.
- [6] 于晓芳,高聚林,叶君,等.深松及氮肥深施对超高产春玉米根系生长、产量及氮肥利用效率的影响[J].玉米科学,2013,21(1):114-119.
- [7] 齐华,刘明,张卫建,等.深松方式对土壤物理性状及玉米根系分布的影响[J].华北农学报,2012,27(4):191-196.
- [8] 刘明,齐华,张卫建,等.深松与施氮方式对春玉米子粒灌浆及产量和品质的影响[J].玉米科学,2013,21(3):115-119,130.
- [9] 赵亚丽,刘卫玲,程思贤,等.深松(耕)方式对砂姜黑土耕层特性、作物产量和水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2018,51(13):2489-2503.
- [10] 梁金凤,齐庆振,贾小红,等.不同耕作方式对土壤性质与玉米生长的影响研究[J].生态环境学报,2010,19(4):945-950.
- [11] 李华,逢焕成,任天志,等.深旋耕作法对东北棕壤物理性状及春玉米生长的影响[J].中国农业科学,2013,46(3):647-656.
- [12] 张瑞富,杨恒山,高聚林,等.深松对春玉米根系形态特征和生理特性的影响[J].农业工程学报,2015,31(5):78-84.
- [13] 尹宝重,甄文超,冯悦.海河低平原深松播种对夏玉米根系生理的影响及其节水增产效应[J].作物学报,2015,41(4):623-632.
- [14] 胡恒宇,李增嘉,宁堂原,等.深松和尿素类型对不同玉米品种水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2011,44(9):1963-1972.
- [15] 张凤路,刘鑫,张怡明,等.施氮和深松对春玉米根系性状的影响研究[J].华北农学报,2012,27(增刊):309-314.
- [16] 杨恒山,张玉芹,徐寿军,等.超高产春玉米干物质及养分积累与转运特征[J].植物营养与肥料学报,2012,18(2):315-323.
- [17] 张瑞富,杨恒山,高聚林,等.深松促进春玉米干物质和磷素的积累与转运[J].农业工程学报,2016,32(19):106-112.
- [18] 齐文增,陈晓璐,刘鹏,等.超高产夏玉米干物质与氮、磷、钾养分积累与分配特点[J].植物营养与肥料学报,2013,19(1):26-36.
- [19] 王敬锋,刘鹏,赵秉强,等.不同基因型玉米根系特性与氮素吸收利用的差异[J].中国农业科学,2011,44(4):699-707.
- [20] 米国华,陈范骏,春亮,等.玉米氮高效品种的生物学特征[J].植物营养与肥料学报,2007,13(1):155-159.
- [21] 米国华,陈范骏,吴秋平,等.玉米高效吸收氮素的理想根构型[J].中国科学:生命科学,2010,40(12):1112-1116.
- [22] 李晓龙,高聚林,胡树平,等.不同深耕方式对土壤三相及玉米根系构型的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(4):1-7.
- [23] 戴俊英,鄂玉江,顾慰连.玉米根系的生长规律及其与产量关系的研究Ⅱ.玉米根系与叶的相互作用及其与产量的关系[J].作物学报,1988,14(4):310-314.