

不同耕作施肥方式对夏玉米氮素利用及土壤容重的影响

马阳, 吴敏, 王艳群, 周加森, 张世卿, 王继唯, 彭正萍, 郭丽果

(河北农业大学资源与环境科学学院, 河北省农田生态环境重点实验室, 河北保定 071000)

摘要:合理的耕作与施肥方式是实现作物高产高效的重要措施,为研究不同耕作及施肥方式对夏玉米氮素利用、产量和土壤容重的影响,在2016年和2017年夏玉米生长时期分别设置免耕浅施肥(T1)、深松全层施肥(T2)、新型深松两肥异位分层施肥(T3)3种耕作施肥方式。结果表明:与T1比,2种深松处理的成熟期植株干物质积累量、全氮积累量平均分别提高9.68%、13.97%,夏玉米平均增产17.20%;深松耕作处理的氮肥生产效率和农学效率较T1平均分别增加14.74%和59.95%,氮肥表观利用率平均抬升14.15个百分点;0—40 cm土壤容重降低8.54%。深松耕作方式下,与T2比,T3的成熟期植株干物质积累量、全氮积累量平均分别提高9.41%、6.28%,夏玉米平均增产9.70%,氮肥生产效率和农学效率分别增加8.59%和32.32%,氮肥表观利用率抬升14.10个百分点。与T1比,2种深松施肥方式T2和T3均显著降低土壤容重,提高夏玉米产量,促进氮肥利用。控释氮肥与深松两肥异位分层施肥(T3)相结合的方式能够更加有效地降低土壤容重,提高作物产量和氮素利用效率,是黄淮海平原区夏玉米生产中值得推荐的一种新型耕作施肥方式。

关键词:夏玉米;耕作及施肥方式;产量;氮素利用;土壤容重

中图分类号:S513;S147.3;S152.5

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2019)05-0171-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbxb.2019.05.025

Effects of Different Tillage and Fertilization Methods on Nitrogen Utilization and Soil Bulk Density of Summer Maize

MA Yang, WU Min, WANG Yanqun, ZHOU Jiasen, ZHANG Shiqin,

WANG Jiwei, PENG Zhengping, GUO Liguo

(Hebei Key Laboratory for Farmland Eco-environment, College of Resources and Environmental Science, Hebei Agricultural University, Baoding, Hebei 071000)

Abstract: Reasonable tillage and fertilization methods are important measures to achieve the high yield and high efficiency of crops. The research work was conducted to explore the effects of different tillage and fertilization methods on nitrogen (N) utilization, yield and soil bulk density of summer maize. In 2016—2017, three treatments of tillage and fertilization were designed, including T1 (no-tillage + upper application of NPK), T2 (subsoiling + whole layer application of NPK) and T3 (application of N, P, K fertilizers to designated different soil depth with subsoiling). Compared with T1, the dry matter accumulation and total N accumulation of T2 and T3 at the mature stage increased by 9.68% and 13.97%, respectively, and the average yield of summer maize enhanced by 17.20%. Compared with T1, the N production efficiency and agronomic efficiency of T2 and T3 improved by 14.74% and 59.95%, respectively, and the apparent N utilization efficiency increased by 14.15% on average, while the soil bulk density of 0—40 cm decreased by 8.54%. Under the deep pine cultivation method, compared with T2, the dry matter and total N accumulation of T3 at the mature stage increased by 9.41% and 6.28%, respectively, and the average grain yield raised by 9.70%, the N production and agronomic efficiency of T3 increased by 8.59% and 32.32%, respectively, and the apparent N utilization efficiency increased by 14.10%. Compared with T1, T2 and T3 increased the yield of summer maize and the utilization of N fertilizer and significantly reduced soil bulk density. The combination of controlled release N fertilizer and deep pine with two-fertilizer ectopic stratified fertilization (T3) could more effectively reduce soil bulk density, increase grain yield and N use efficiency. It is a new type of tillage and fertilization method recommended of summer maize production in the Huanghuaihai Plain.

Keywords: summer maize; tillage and fertilization methods; grain yield; nitrogen utilization; soil bulk density

收稿日期:2019-03-20

资助项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0300905)

第一作者:马阳(1993—),男,博士研究生,主要从事土壤养分化学与调控研究。E-mail:63999319@qq.com

通信作者:彭正萍(1974—),女,教授,博士生导师,主要从事植物营养与生态环境研究。E-mail:pengzhengping@sina.com

黄淮海作为我国重要粮食产区,冬小麦/夏玉米一年两熟集约化种植模式保障了该区粮食持续稳定高产,多年传统翻耕造成土壤侵蚀加重和养分损失^[1]。为争取农时,冬小麦收获后免耕播种夏玉米成为主要种植方式,而浅层单施基肥或浅层基肥配以后期追肥成为主要施肥方式^[2]。免耕减少土壤扰动,促进土壤团聚体形成^[3],主要增加表层土壤碳、氮储量^[4-5],但由免耕带来的农田耕层变浅、深层养分匮乏,水肥气热协调功能弱化等问题也日益突出^[6-7]。改变耕作方式是提高土壤生产能力、构建合理耕层结构的重要途径之一^[8]。大量研究^[9-10]表明,深松打破土壤犁底层,增加土壤孔隙度,降低容重,提高蓄水保肥性能,改善通透性,利于作物扎根,增产效果显著。

针对不同耕作方式对玉米产量、氮肥利用率的影响研究较多,但目前生产中推广多且较为先进的是深松全层施肥精播技术,这种技术将同一种复合肥施在 0—30 cm 土层,改善土壤容重及孔隙度,提高玉米产量,促进养分吸收^[11]。但目前农田土壤突出表现出耕层土壤养分远高于下层土壤^[12]。虽然有关耕作方式结合施肥位置对玉米产量及氮肥利用率的影响研究^[2,13-14]有一些报道,但仍需要进一步研究新型耕作方式改善土壤耕层结构、促进作物养分吸收、提高肥料利用效率的作用机制,实现养分时空供应和作物需求的同步。

在黄淮海小麦/玉米轮作种植区,前茬玉米秸秆粉碎施肥旋耕后种植冬小麦,小麦季的全部肥料均施在表层,结合土壤养分上层高于下层的特点,本文研究了一种借助小麦耕层养分,在夏玉米季将部分氮磷钾肥深施的耕作施肥精播技术,充分发挥土壤养分空间分布特征,达到培育土壤结构,提高养分利用,稳定作物产量的目标。本文在 2016 年和 2017 年以小麦/玉米轮作系统中的夏玉米和氮素为研究对象,设置了免耕浅施肥、深松全层施肥、深松两肥异位分层施肥(课题组自主研发的新型深松两肥异位分层施肥机并形成相应技术)3 种耕作施肥方式,同一种耕作方式下安排了缺氮区,通过比较不同耕作施肥方式对夏玉米产量、植株氮素吸收利用和土壤容重变化的影响差异,探寻新型耕作施肥方式下作用机制,为黄淮海地区选择更好的耕作施肥模式提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤:试验地位于河北省邢台市宁晋县凤凰镇孟村,年平均气温 12.8 ℃,无霜期 198 d,年均日照时间 2 538.1 h,年均降水量 449.1 mm。前茬冬小麦收获后秸秆粉碎还田,供试土壤为壤质潮褐土,试验前 0—20,20—40 cm 土层养分见表 1。

表 1 供试土壤试验前化学基本性质

土层 深度/cm	pH	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
0—20	8.49	15.65	1.18	19.33	112.5
20—40	8.58	8.34	0.92	3.39	77.0

供试作物:第 1 茬玉米品种为“郑单 958”,第 2 茬玉米品种为“伟科 966”,第 1 茬玉米收获后种植的冬小麦品种为“河农 6049”。

供试肥料:掺混肥料(N:P₂O₅:K₂O 为 26:10:12+TE),缓释氮肥(含纯 N 44%),过磷酸钙(含 P₂O₅ 16%),氯化钾(含 K₂O 60%)。供试农机为深松两肥异位分层施肥精播机,深松全层施肥精播机和普通玉米精播机。

1.2 试验设计

本试验进行 2 茬夏玉米和 1 茬冬小麦。开始于 2016 年 6 月的夏玉米(第 1 茬),设免耕浅施 NPK 肥(施肥深度 0~13 cm)、深松全层施 NPK 肥(同一种复混肥分 6 层施用,施肥深度 0~30 cm)、新型深松两肥异位分层施 NPK 肥(上层 0—15 cm 土壤分 3 层施用总纯氮用量 60%的缓释氮肥;下层 15—30 cm 土壤分 3 层施用事先混配好的 NPK 肥,包括总纯氮用量 40%的缓释氮肥,颗粒状过磷酸钙和氯化钾)。不同处理 N、P₂O₅、K₂O 施用量相同,分别为 234, 90,108 kg/hm²;同时设置 3 种不同耕作方式的缺氮肥处理,该处理只用于氮肥利用效率的计算。各处理全部肥料做底肥一次性施入土壤,后期不再追肥。为了生产中机械化操作方便,每个处理进行大区试验,面积 2 800 m²,采样时每个大区取 3 次重复。具体各处理情况见表 2。2016 年 6 月 18 日播种第 1 茬玉米,10 月 7 日收获。10 月 10 日整地后种植后茬冬小麦,小麦季各处理进行相同模式播种和施肥,统一水肥管理,纯 N、P₂O₅、K₂O 基肥用量分别为 156,60, 72 kg/hm²,来年春季结合灌溉追氮肥 132 kg/hm²,2017 年 6 月 15 日收获,小麦只作为后效研究,不做具体分析。6 月 17 日播种第 2 茬夏玉米,10 月 7 日收获,2 茬夏玉米试验处理及方法相同。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 植株生长性状及产量 在第 1 茬夏玉米抽雄吐丝期,在每个处理田间试验区选择 3 个不同位置,作为 3 次重复,每个位置选择代表性长势一致的玉米连续 10 株。采用卷尺测定玉米植株的株高和穗位高,采用叶绿素仪(TYS-B)测定穗位叶的叶绿素 SPAD 值,采用游标卡尺测定茎粗(根上部第 3,4 节间),采用茎秆强度仪(SY-S03)测定植物穿刺强度(根上部第 3,4,5 节间)。上述指标只在 2016 年进行了测定。

表 2 夏玉米试验处理及纯养分用量

代码	处理名称	施肥深度/cm	施肥方式
T1	免耕浅施肥	0~13	全部 NPK 肥
T2	深松全层施肥	0~30	全部 NPK 肥
T3	深松两肥异位分层施肥	0~30 0~15 cm 缓释氮肥;15~30 cm 部分缓释氮肥和全部磷钾肥	

成熟期,在每个处理田间试验区选择 3 个不同位置,作为 3 次重复,每个位置选择代表性长势一致的玉米连续 15 只果穗。风干脱粒后,测定籽粒重,采用谷物水分测定仪(PM-8188)测定籽粒含水量,计算玉米籽粒产量。冬小麦收获期,每个处理采 3 组重复,每组割 2 m²,用脱粒机将其全部脱粒,测定总籽粒重及其含水量,计算小麦籽粒产量,计算公式为:

玉米产量(kg/hm²)=($\frac{\text{籽粒鲜重(kg)}}{\text{个数(株)}}\times(1-\text{籽粒含水量(\%)})\times\text{有效穗数(株/hm}^2)\div(1-14\%)$)

(1)

小麦产量(kg/hm²)=($\frac{\text{籽粒鲜重(kg)}}{\text{取样面积(m}^2\text{)}}\times(1-\text{籽粒含水量(\%)})\div(1-12.5\%)\times10000$)

(2)

1.3.2 植物干物质和氮含量 在 2 茬夏玉米生长的拔节、大喇叭口、抽雄吐丝、灌浆和成熟期,每个处理田间试验区选择 3 个不同位置,作为 3 次重复,每个位置选择 2 株具有代表性的玉米植株。将植物样品分为茎、叶、穗轴、籽粒 4 部位,105 ℃杀青 30 min,75 ℃烘至恒重,称重后全部粉碎混匀,过 1 mm 筛。采用 H₂SO₄—H₂O₂消煮,凯氏定氮仪(KDY-9810)测定其中全氮含量^[15]。

1.3.3 氮肥效率 因 3 季作物包括冬小麦和夏玉米 2 种不同作物,氮肥累积效率参照杨旻等^[16]在长期定位试验中的养分效率计算方法进行,计算公式为:

N 肥累积表观利用率(%)=(3 茬作物施 N 处理地上部累积吸 N 总量-3 茬作物不施 N 处理地上部

累积吸 N 总量)/累积施入 N 总量×100%

(3)

N 肥累积农学效率(kg/kg)=(施 N 处理作物产量之和-不施 N 处理作物产量之和)/累积施入 N 总量

(4)

N 肥累积生产效率(kg/kg)=施 N 处理作物产量之和/累积施入 N 总量

(5)

1.3.4 土壤容重 在 2 茬夏玉米生长的成熟期分别按 0—10,10—20,20—40,40—60 cm 取环刀土,测定土壤容重,第 1 茬采用容重钻采集,第 2 茬采用挖剖面采集。

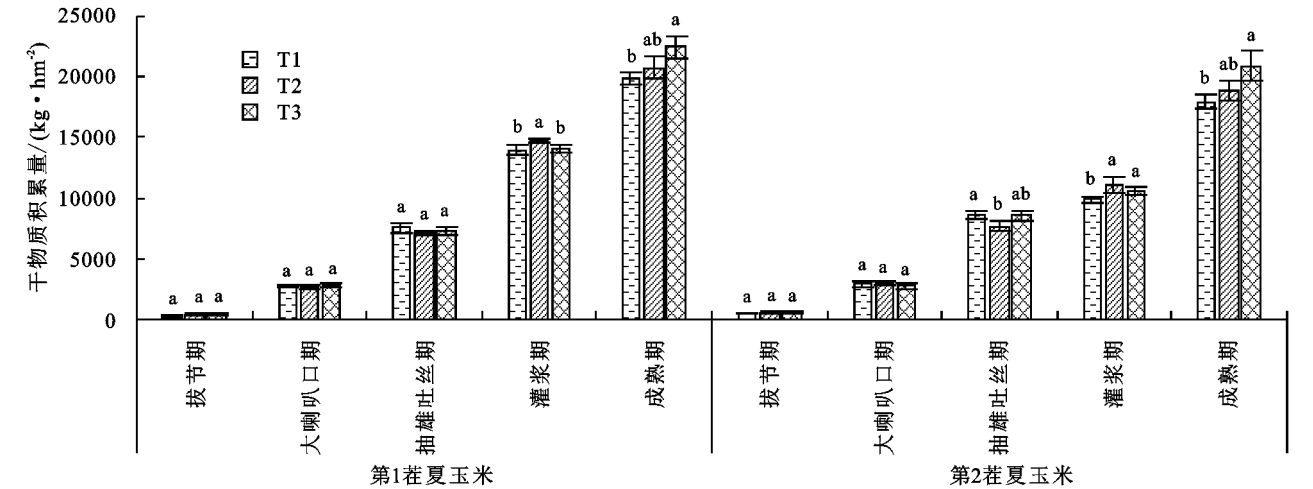
1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2010 进行数据的处理和相关图表绘制,使用 SPSS 25.0 软件进行显著性检验,显著性均为 0.05 水平。

2 结果与分析

2.1 不同耕作施肥方式对夏玉米干物质积累及分配的影响

由图 1 可知,在第 1 茬夏玉米拔节、大喇叭口和抽雄吐丝期 3 个处理的玉米干物质积累量无显著差异。在灌浆期,T2 干物质积累量平均显著较 T1 和 T3 处理高 5.07%。第 2 茬夏玉米拔节和大喇叭口期 3 个处理间无显著差异。在抽雄吐丝期表现出 T1>T3>T2,灌浆期为 T2>T3>T1,其中 T2 干物质积累量较 T3 提升 4.32%,较 T1 平均显著提升 12.10%;2 茬夏玉米成熟期均表现出 T3>T2>T1,T3 玉米干物质积累量较 T2 平均提高 9.41%,较 T1 平均显著提高 14.61%。



注:图柱上不同小写字母表示同一生育时期下不同处理间差异达 5%显著水平。下同。

图 1 不同耕作施肥方式下夏玉米干物质动态积累量

2.2 不同耕作施肥方式对夏玉米生长性状的影响

由表 3 可知,不同耕作施肥方式对夏玉米株高、叶绿素、穗位叶夹角和第 4 节间穿刺强度的影响差异不显著。与 T1 相比,T2 和 T3 显著提高穗位高、茎粗、第 3

节和第 5 节间穿刺强度,提高幅度分别为 3.85%,5.08%,3.32%,10.11%和 4.47%,6.64%,4.16%,14.89%,而 T2 与 T3 间差异未达显著水平。较免耕比,深松有助于提高玉米穗位高、茎粗和抗倒伏性能。

表 3 不同耕作施肥方式下玉米生长性状

处理	株高/ cm	穗位高/ cm	茎粗/ mm	叶绿素 SPAD	穗位 叶夹角/(°)	不同节间穿刺强度/N		
						第 3 节	第 4 节	第 5 节
T1	273.2±11.17a	111.8±1.14b	25.6±0.45b	61.9±2.03a	44.8±1.27a	36.1±0.56b	37.2±1.20a	35.6±0.94b
T2	271.6±9.81a	116.1±3.12a	26.9±0.93a	60.7±1.07a	46.5±1.44a	37.3±0.40a	39.9±2.15a	39.2±1.15a
T3	270.0±7.93a	116.8±2.93a	27.3±0.39a	60.7±0.45a	45.2±1.66a	37.6±0.88a	40.2±1.04a	40.9±1.88a

注:表中数据为平均值±标准差;同列数字后不同小写字母表示不同处理间差异达 5%显著水平。

2.3 不同耕作施肥方式对夏玉米产量及其构成因素的影响

由表 4 可知,第 1 茬、第 2 茬玉米的百粒重、产量及后茬小麦产量均表现出 T3>T2>T1,T2 的玉米产量、后茬小麦产量较 T1 分别显著增加 11.74%和 4.66%,T3 的玉米百粒重、玉米产量和后茬小麦产量较 T1 分别显著提高 3.73%,22.60%,7.46%;T3 的玉米百粒重、玉米

产量和后茬小麦产量较 T2 分别显著提升 2.93%,9.72%,2.67%。T1 处理的第 1 茬、第 2 茬玉米秃尖长显著高于 T2、T3 处理 1.23~1.28 cm。不同耕作施肥方式对玉米穗粗、穗长、穗粒数的影响差异不大。说明深松显著降低玉米秃尖长,提升百粒重、增加玉米和后茬小麦产量,深松耕作方式下,分层施肥处理(T3)提高玉米百粒重,增产效果更为明显。

表 4 不同耕作施肥方式下的作物产量

年份	处理	穗粗/cm	穗长/cm	秃尖长/cm	穗粒数	百粒重/g	玉米产量/ (kg·hm ⁻²)	后茬小麦产量/ (kg·hm ⁻²)
2016	T1	5.12±0.04a	17.9±0.66a	2.49±0.24a	565.3±4.08a	34.3±1.16b	10820±569c	8686±221c
	T2	5.15±0.01a	18.4±0.48a	1.18±0.35b	562.4±7.76a	34.3±0.57b	11980±306b	9091±110b
	T3	5.17±0.04a	17.6±0.88a	1.38±0.36b	564.1±7.67a	36.0±0.44a	13162±349a	9334±93a
2017	T1	5.19±0.10a	16.8±0.39a	4.92±0.63a	518.7±10.80a	36.5±0.85b	9808±421c	
	T2	5.12±0.09a	16.8±0.22a	3.78±0.98b	520.0±9.69a	37.0±0.15b	11069±213b	
	T3	5.11±0.01a	17.0±0.14a	3.47±1.24b	512.5±11.59a	37.4±0.23a	12128±401a	

注:同列数字后不同小写字母表示同一生育时期下不同处理间差异达 5%显著水平。下同。

2.4 不同耕作施肥方式对夏玉米不同时期氮素积累及分配的影响

由图 2 可知,第 1 茬夏玉米,拔节、大喇叭口、抽雄吐丝和灌浆期玉米全氮积累量主要集中在叶,分别占整株的 68.00%,70.56%,64.72%,45.65%,成熟期玉米全氮积累量主要集中在籽粒,占整株的 59.55%。不同耕作施肥方式的植株全氮积累量在第 1 茬、第 2 茬玉米拔节、大喇叭口、抽雄吐丝和灌浆

期差异不显著,成熟期均表现出 T3>T2>T1,其中 T2 和 T3 的整株全氮积累量较 T1 分别平均显著提高 10.48%,17.46%,第 1 茬玉米成熟期中,T2 和 T3 差异不显著,第 2 茬玉米成熟期中,T3 的整株全氮积累量较 T2 显著提高 10.35%。表明深松耕作与新型分层施肥方式均能促进氮素向籽粒转移,提升玉米整株全氮积累量,深松耕作下分层施肥的效果最显著。

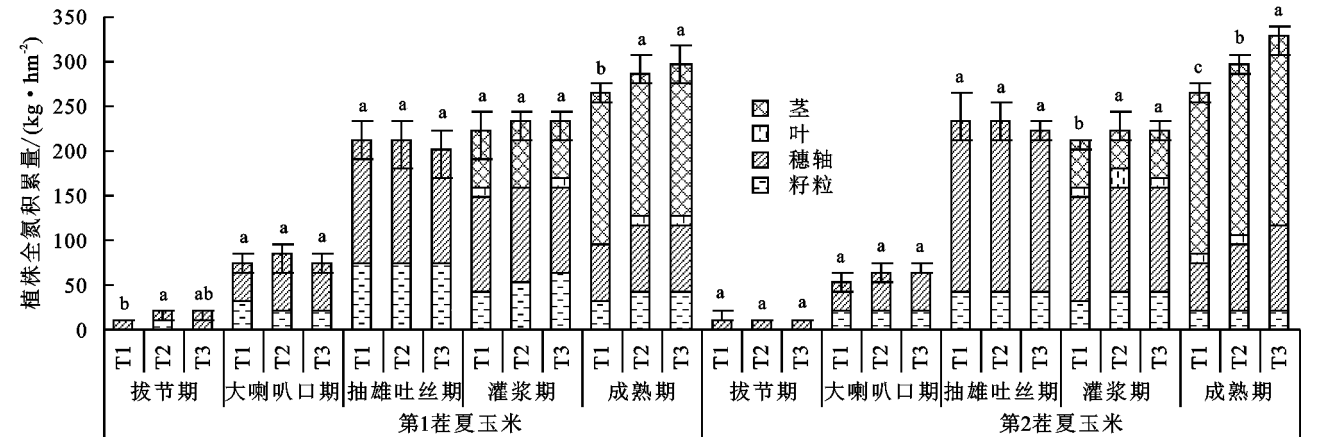


图 2 不同耕作施肥方式下的氮素吸收与分配

2.5 不同耕作施肥方式对夏玉米氮肥效率的影响

由表 5 可知,第 1 茬夏玉米,不同耕作施肥方式的氮肥累积生产效率、表观利用率和农学效率均表现为 T3>T2>T1,且不同处理间差异显著,第 2 茬夏玉米不同处理间氮素利用效率差异与第 1 茬接近。T2 和 T3 处理的氮肥累积生产效率和农学效率平均分别较 T1 提高 10.01%,37.70%和 19.47%,82.20%,T2 和 T3 的氮肥累积表观利用率较 T1 上升 7.10,21.20 个百分点,说明深松耕作方式有效提升玉米氮肥效率。T3 处理 2 茬夏玉米的氮肥累积生产效率和农学效率平均分别较 T2 增加 8.59%和 32.32%,氮肥累积表观利用率平均抬升 14.10 个百分点,深施耕作下,新型分层施肥方式更有利于植株的养分吸收和利用,显著提升氮肥的各项累积效率。

表 5 不同耕作施肥方式下的氮肥累积效率

年份	处理	氮肥累积	氮肥累积	氮肥累积
		生产效率/ (kg·kg ⁻¹)	表观利用 率/%	农学效率/ (kg·kg ⁻¹)
2016	T1	46.2±2.43c	32.1±3.53c	11.2±2.43c
	T2	51.2±3.45b	38.4±1.57b	14.8±0.45b
	T3	56.3±1.49a	56.7±12.84a	19.9±1.49a
2017	T1	43.7±2.90c	27.0±2.87c	7.9±0.90c
	T2	47.7±1.25b	34.9±3.16b	11.5±0.55a
	T3	51.1±1.72a	44.8±5.93a	14.9±1.72a

2.6 不同耕作施肥方式对土壤容重的影响

由表 6 可知,第 1 茬夏玉米成熟期,与 T1 比较,T2 和 T3 处理 0—10 cm 土壤容重平均分别降低 12.08%和 9.40%,10—20 cm 土壤容重平均分别降低 12.03%和 12.66%,20—40 cm 土壤容重有降低趋势,T2 和 T3 各土层容重间无明显差异。第 2 茬夏玉米成熟期,与 T1 比,T2 和 T3 处理 0—10,10—20,20—40 cm 的土壤容重分别降低 4.94%,4.97%,9.71%,40—60 cm 各处理间无明显差异。与免耕比,连续 2 年深松有效降低 0—40 cm 土壤容重 8.54%,而不同施肥方式下各土层容重差异不显著。

表 6 不同耕作施肥方式下玉米成熟期土壤容重

年份	处理	土壤容重/(g·cm ⁻³)			
		0—10 cm	10—20 cm	20—40 cm	40—60 cm
2016	T1	1.49±0.06a	1.58±0.06a	1.56±0.03a	1.45±0.07a
	T2	1.31±0.11b	1.39±0.10b	1.47±0.05a	1.49±0.08a
	T3	1.35±0.07b	1.38±0.05b	1.45±0.02a	1.51±0.04a
2017	T1	1.62±0.03a	1.81±0.03a	1.70±0.09a	1.61±0.04a
	T2	1.54±0.04b	1.70±0.06b	1.56±0.02b	1.56±0.07a
	T3	1.54±0.04b	1.74±0.03b	1.51±0.08b	1.58±0.05a

3 讨论

耕作措施通过影响土壤环境进而影响作物对养分的吸收,科学合理的耕作施肥模式是提高作物产量

和效率的有效途径^[17]。本试验中,与传统免耕比,2 种深松耕作处理均有助于提高玉米穗位高、茎粗、第 3 节和第 5 节间穿刺强度(表 3),显著提高成熟期植株干物质和全氮积累量(图 1、图 2),有效降低 0—40 cm 土壤容重(表 6)。由于常年免耕使土壤耕层变浅,犁底层逐年加厚,阻碍作物根系正常下扎和活性,玉米生长后期根系衰老加快^[18-19]。已有研究^[20]表明,深松有效增加深层土壤含水量,提高土壤保水性能,本文进一步明确深松耕作机械式打破犁底层,可以降低土壤容重,有利于玉米根系下扎;这些对作物生长后期的根系活力和植株抗逆能力有积极促进作用^[19,21]。深松显著增加玉米生育后期的氮素积累,从而有利于延缓叶片衰老,促进成熟期干物质积累量增加,提高氮肥表观利用率 14.15 个百分点(表 5),增产 17.17%(表 4)。说明深松耕作处理改善土壤通透性,较免耕有利于作物后期植株氮素和干物质的积累,显著提升氮肥利用和玉米产量,减少氮肥的土壤环境损失。

控释肥料的应用不仅满足了作物对养分的需求,更重要的是减少了后期追肥的人力投入,与深松全层施肥比,新型异位分层施控释氮肥的作物产量提高 9.72%,氮素表观利用率增加 14.10 个百分点,主要由于玉米生育后期干物质质量和全氮积累量的增加。控释肥根据玉米生长特性进行选择释放,前期释放缓慢,各处理间作物干物质质量差异不显著,后期释放速率加快,对土壤氮素的供应能力显著增加,降低叶片中氮素向籽粒的转运,延缓了叶片的衰老^[22-23],而根据土壤养分的垂直分布特点,采取分层施肥,有效补充了土壤下层养分,有利于作物灌浆期、成熟期的干物质和氮素积累,从而提高了玉米产量及氮素利用效率。

4 结论

较免耕浅层施肥相比,深松处理显著降低土壤容重,促进玉米干物质积累量和植株全氮积累,2 种深松处理均显著提高了夏玉米产量及氮肥利用效率、后茬小麦产量。深松耕作方式下,新型异位分层施肥方式的作物产量和氮肥利用效率最高,说明采取分层施肥技术对玉米氮素利用有显著提高作用。因此,控释氮肥与深松两肥异位分层施肥相结合的方式能够更有效改善土壤通透性,提高玉米产量和氮素利用效率,是黄淮海平原区夏玉米生产中值得推荐的一种新型耕作施肥方式。

参考文献:

[1] 薛建福,赵鑫,Shadrack B D,等.保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展[J].生态学报,2013,33(19): 6006-6013.

[2] 尹宝重,甄文超,马燕会,等.深松一体化播种对夏玉米农田土壤水热特征及微生物动态的影响[J].中国生态农业学报,2015,23(3):285-293.

[3] 余海英,彭文英,马秀,等.免耕对北方旱作玉米土壤水

- 分及物理性质的影响[J].应用生态学报,2011,22(1):99-104.
- [4] Spargo J T, Cavigelli M A, Alley M M, et al. Changes in soil organic carbon and nitrogen fractions with duration of no-tillage management [J]. Soil Science Society of America Journal, 2012, 76(5): 1624-1633.
- [5] Du Z L, Ren T S, Hu C S. Tillage and residue removal effects on soil carbon and nitrogen storage in the north China plain [J]. Soil Science Society of America Journal, 2010, 74(1): 196-202.
- [6] 张锡洲, 李廷轩, 余海英, 等. 水旱轮作条件下长期自然免耕对土壤理化性质的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(6): 145-147.
- [7] 翟振, 李玉义, 逢焕成, 等. 黄淮海北部农田犁底层现状及其特征[J]. 中国农业科学, 2016, 49(12): 2322-2332.
- [8] Sharma R, Basnet K B, Marahattha S, et al. Performance of maize hybrids under different tillage methods and nitrogen levels [J]. African Journal of Agricultural Research, 2018, 13(2): 36-40.
- [9] Ohwaki A. Ground arthropod communities in paddy fields during the dry period: Comparison between different farming methods [J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2015, 18(3): 413-419.
- [10] 郑洪兵, 刘武仁, 罗洋, 等. 耕作方式对农田土壤水分变化特征及水分利用效率的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(3): 264-270.
- [11] 张丽光, 李丹, 刘磊, 等. 不同施肥种植模式对玉米光合特性、养分效率及产量性状的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 115-119, 125.
- [12] Peng Z P, Ma S Y, Wang Y Q, et al. Plant and soil fertility characteristics of different winter wheat fields in the Huang-huai-hai plain of China [J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-soil and Plant Science, 2016, 66(7): 1-10.
- [13] 濮超, 刘鹏, 阚正荣, 等. 耕作方式及秸秆还田对华北平原土壤全氮及其组分的影响[J]. 农业工程学报, 2018, 34(9): 160-166.
- [14] 冯倩倩, 韩惠芳, 张亚运, 等. 耕作方式对麦-玉轮作农田固碳、保水性能及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(4): 869-879.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版, 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 杨旸, 张树兰, 杨学云, 等. 长期定位施肥对旱作壤土小麦产量、养分效率及养分平衡的影响[J]. 土壤通报, 2017, 48(5): 1162-1168.
- [17] 张哲元, 张玉龙, 黄毅, 等. 覆膜及深松配合措施对玉米生长发育及产量的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(5): 1156-1159.
- [18] 赵秉强, 李凤超, 薛坚, 等. 不同耕法对冬小麦根系生长发育的影响[J]. 作物学报, 1997, 23(5): 587-596.
- [19] 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.
- [20] 马阳, 吴敏, 郭献彬, 等. 新型耕作施肥方式下夏玉米田土壤水分分布和磷素利用研究[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 98-102.
- [21] 宋日, 吴春胜, 牟今明, 等. 深松土对玉米根系生长发育的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2000, 22(4): 73-75.
- [22] 尹彩侠, 李前, 孔丽丽, 等. 控释氮肥减施对春玉米产量、氮素吸收及转运的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(20): 3941-3950.
- [23] 邵国庆, 李增嘉, 宁堂原, 等. 灌溉与尿素类型对玉米花后穗位叶衰老、产量和效益的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(1): 118-123.
- (上接第 170 页)
- [22] 曹建华, 宋林华, 姜光辉, 等. 路南石林地区土壤呼吸及碳稳定同位素日动态特征[J]. 中国岩溶, 2005, 24(1): 25-29, 42.
- [23] Klumpp K, Schäufele R, Lötscher M, et al. C-isotope composition of CO₂ respired by shoots and roots: Fractionation during dark respiration[J]. Plant Cell & Environment, 2010, 28(2): 241-250.
- [24] 董云社, 齐玉春, 刘纪远, 等. 不同降水强度 4 种草地群落土壤呼吸通量变化特征[J]. 科学通报, 2005, 50(5): 473-480.
- [25] 王玉涛, 李吉跃, 程炜, 等. 北京城市绿化树种叶片碳同位素组成的季节变化及与土壤温湿度和气象因子的关系[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3143-3151.
- [26] 钟海秀, 伍一宁, 许楠, 等. 大气 CO₂ 浓度升高对三江平原湿地小叶章叶片稳定碳同位素组成的影响[J]. 国土与自然资源研究, 2018(1): 88-90.
- [27] Senbayram M, Dixon L, Goulding K W T, et al. Long-term influence of manure and mineral nitrogen applications on plant and soil ¹⁵N and ¹³C values from the Broadbalk Wheat Experiment [J]. Rapid Communications in Mass Spectrometry: RCM, 2008, 22(11): 1735-1740.
- [28] 艾丽, 吴建国, 祁连山 3 种典型生态系统土壤微生物活性和生物量碳氮含量[J]. 植物生态学报, 2008, 32(2): 465-476.
- [29] 汤红官, 陈拓, 文隄英, 等. 两种圆柏属常绿植物叶片稳定碳同位素的季节变化及其指示意义[J]. 冰川冻土, 2010, 32(5): 1030-1034.
- [30] 李瀚之, 余新晓, 贾国栋, 等. 北京山区侧柏人工林内 CO₂ 浓度及其 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化特征和影响因子[J]. 应用生态学报, 2017, 28(7): 2164-2170.