第3卷 第3期
1997年9月

植物营养与肥料学报
PLANT NUTRITION AND FERTILIZER SCIENCE

Vol.3 No.3
Sep. 1997

垄作不同土层施肥对小麦生长及氮肥肥效的影响①

艾应伟　陈实　张先婉　徐佩

（中国科学院成都山地研究所，成都　610041）

范志金

（四川师范大学化学系，成都 610066）

摘　要

通过田间小区试验和微区筒^{15}N示踪试验对垄作表层施肥（垄面下1～2cm土层处施肥）、垄作中层施肥（垄面下25cm土层处施肥）、垄作底层施肥（垄面下45cm土层处施肥）和平作表层施肥（常规耕作，1～2cm土层处施肥）的小麦生长发育及氮肥肥效的变化开展了研究。结果表明，在垄作条件下，施肥越深，氮肥利用率越高，即垄作表施（14.52%）＜垄作中施（16.53%）＜垄作底施（20.56%）；与其它处理相比，平作表施（23.78%）的氮肥利用率值最大。地上部生物量及叶面积系数在小麦各生育期通常是平作表施和垄作中施＞垄作表施和垄作底施。

关键词　小麦　垄作　施肥位置　氮肥肥效

合理的施肥位置不仅可维持作物根圈养分的平衡、减少养分的流失，而且还可避免对种子和根的损伤，使难以移动的养分容易被作物吸收利用[1,2]。施肥位置的效果与肥料成分在土壤中的移动性、根系的分布、根的生理生态功能等有关，施肥位置的不同直接关系到肥效的发挥、作物产量的高低[3~5]。许多研究表明，氮肥的施肥位置与施用法对作物吸收利用肥料氮和土壤氮的数量以及作物生长发育都有很大的影响[1,2,6]。通常从水平方向把施肥位置分为全面施肥、条施肥、点施肥三类；从垂直方向又把施肥位置分为表面施肥、表层施肥、深层施肥、全层施肥四类。而施肥的具体位置又必须根据作物种类、肥料形态、土壤特性、地理位置等因素来确定[2]。近年来，旱地聚土免耕垄沟立体种植技术在全国各地，特别是西南地区得到了大面积推广应用，取得了显著的效益[7,8]。在这项实用技术的研究与生产实践中发现，聚土垄作条件下15～35cm土层施肥是聚土垄紧实度调节的关键，具有明显的增产作用。但不同土层施肥条件下的变化还有待深入、系统地研究[8]。目前国内外尚缺乏有关施肥位置与耕作方式的相关研究报道。针对这个问题，应用^{15}N示踪及田间小区试验对垄作的不同土层施肥和平作的表层施肥与小麦生长发育及氮肥肥效的相关关系进行了研究，以探讨垄作不同施肥位置及施肥位置在垄作与平作条件下的差异性。

① 国家自然科学基金资助项目。
收稿日期：1996－04－03

一、材料与方法

试验在中国科学院盐亭紫色土农业生态试验站进行。供试土壤为蓬莱镇组母质发育的棕紫泥土，基本理化性状为：有机质1.12%，全氮0.073%，碱解氮56.8mg/kg，速效磷(P)8.9mg/kg，速效钾(K)85.71mg/kg，pH 8.3。^{15}N肥料为丰度5.07%的尿素肥料(上海化工研究院产)。供试小麦为当地推广品种"310"。

试验设4个处理：①表层施肥并垄作(施肥深度1～2cm，简称垄作表施)；②中层施肥并垄作(施肥深度25cm，简称垄作中施)；③底层施肥并垄作(施肥深度45cm，简称垄作底施)；④表层施肥的常规耕作(施肥深度1～2cm，简称平作表施)。3次重复，随机区组排列，小区面积4m×5m，小区间和重复间间隔均为0.5m。小麦前作为花生，花生收后耕翻耙平。

垄作即先将4m宽的小区划分为三个垄基(每个垄基宽1m)，垄基间为0.5m的垄沟，然后将垄沟耕层土壤移至垄基上聚成垄面宽80cm、垄高约20cm的垄厢。平作是既不取走表土，也不聚垄，即为常规平面耕作。表层施肥即为土表施肥(采取80cm宽幅条施后撒一层1～2cm的细土覆盖；中层施肥即为先取走垄基5cm活土层，再将肥料进行80cm宽幅条施于其中心位置，最后回填活土层并聚垄；底层施肥即为先取走垄基25cm活土层，再将肥料进行80cm宽幅条施于其中心位置，最后回填活土层并聚垄。每小区施尿素0.825kg(折合N189.75kg/hm^2)、施过磷酸钙1.5kg(折合P_2O_5 165kg/hm^2)，全部作基肥一次施用。

垄作小麦播种在垄面上，平作小麦播种在类似垄基的位置，播幅与垄作相同，即每小区的播种面积与垄作一样，为每小区播3幅，幅宽80cm，幅与幅之间间隔70cm。小麦于当年10月25日播种，第二年5月20日收获。小麦采用挖窝点播，播种规格为20cm×16cm，播种深度3cm左右。播种时每小区灌清粪水50kg，并于播种后45天、83天，即小麦5～6叶期、拔节期再分别灌清粪水75kg和100kg。

在每小区中间一个垄厢上(平作为同等的位置)安放一个特制的无底圆形铁皮筒(直径32cm，高68cm)，筒露出土面1cm左右，与小区试验同时进行微区筒试验。每个微区筒内施^{15}N标记的尿素3.314g、过磷酸钙6.026g。每个微区筒内撒播小麦种子60粒，播种深度为3cm左右，每个微区筒在小麦出苗后定苗40株。微区筒试验除播种方式为撒播，所用氮肥为^{15}N标记的尿素外，其余处理方式与小区试验相同。

在小麦生长发育过程中，分三叶期、拔节期、孕穗期、灌浆期、成熟期取样，每次取样5～8株。将样品分为根、茎、叶、粒、壳测定全氮和^{15}N丰度。每个小区选取一个垄厢在不同生育时期取10株小麦样品测定计算叶面积系数、地上部生物量等。

二、结果与讨论

(一)不同土层施肥对小麦植株氮素营养的影响

1. 小麦不同器官全氮含量的动态变化　在小麦发育过程中，按三叶期、拔节期、孕穗期、灌浆期、成熟期测定其根、茎、叶的全氮含量，结果见表1。

表1看出，从三叶期到拔节期间的54天，无论是垄作还是平作，其表层施肥的小麦根、叶含氮量呈下降趋势，以叶的变幅较大；但垄作的中层施肥和底层施肥却呈上升趋势。出现这种现象与施肥位置和小麦根系的生长发育有关。小麦根系由初生根和次生根所组成。初生根发生早，出苗至拔节是初生根发挥功能的最主要时期。出苗至分蘖，麦苗完全依靠初生根吸收水分和养分，但初生根数量少且浅，对施在25cm和45cm的中层和底层施肥来说，氮肥难以被麦苗吸收，这样势必造成中层和底层施肥小麦体内的含氮量低于表层施肥。而返青以后小麦次生根生长加快，到拔节前后是次生根增长速率最大时期，由于次生根量多、扎根较深，有利于中层和底层施肥小麦对氮素养分的吸收利用，使氮的积累量增多。小麦表层施肥从拔节期开始，中层和底层

施肥从孕穗期开始，根和叶等器官含氮量递降可能与生长中心的转移及生物量增加的稀释效应有关。

表 1　不同处理小麦植株含氮量(%)

Table 1　N contents of wheat plants in different treatments

处理 Treatmeat		三叶期 Trifoliate	拔节期 Elongation	孕穗期 Booting	灌浆期 Filling	成熟期 Maturity
垄作表施	根	2.16	1.89	1.40	1.34	0.86
	茎	-	-	1.10	0.75	0.26
	叶	4.84	4.00	2.62	2.08	0.73
垄作中施	根	1.75	1.97	1.57	1.29	0.85
	茎	-	-	1.18	0.77	0.26
	叶	4.30	4.40	2.75	2.02	0.72
垄作底施	根	1.39	1.95	1.51	1.25	1.01
	茎	-	-	1.07	0.82	0.30
	叶	3.50	3.99	2.75	1.90	0.79
平作表施	根	1.93	1.92	1.56	1.42	1.14
	茎	-	-	1.23	0.84	0.30
	叶	4.82	3.97	2.70	1.89	0.85

2. 小麦不同器官^{15}Ndff值的动态变化　^{15}Ndff值是植物体全氮含量中来自肥料氮所占的百分率。不同土层施肥小麦各生育时期根、叶的^{15}Ndff值见表2。由表2可知，三叶期，叶^{15}Ndff值是表层施肥＞中层施肥＞底层施肥，并达到显著或极显著差异水平；无论是垄作还是平作，表层施肥的^{15}Ndff值没有显著差异，而且非常接近。对于根来说，不同处理间^{15}Ndff值一直到小麦孕穗期仍有显著差异，这个时期表层施肥的^{15}Ndff值显著大于底层施肥，并且平作的表层施肥还显著大于中层施肥，但表层施肥的垄作与平作间^{15}Ndff值仍没有显著差异。^{15}Ndff值的差异与小麦根、叶全氮含量的差异很相似，由此也可说明不同处理间小麦各器官含氮量的差异是由于施肥位置不同带来对肥料氮吸收的差异性所致。

表 2　不同处理小麦各生育期根、叶的Ndff(%)

Table 2　Ndff % of root and leaf of wheat in different treatments

处理 Treatment	三叶期 Trifoliate stage		拔节期 Stem-elongation stage		孕穗期 Booting stage		灌浆期 Filling stage		成熟期 Maturity stage	
	根 Root	叶 Leaf	根 Root	叶 Leaf	根 Root	叶 Leaf	根 Root	叶 Leaf	根 Root	叶 Leaf
垄作表施	55.5aA	56.2aA	45.4aA	42.9	45.8abA	41.9	46.7	46.8	39.9	38.9
垄作中施	16.1bB	22.1bB	31.7bA	40.6	33.9bcA	40.7	38.7	44.9	35.8	40.9
垄作底施	8.6cB	9.3cB	22.7cB	29.2	31.9cA	45.4	41.5	47.9	35.0	46.5
平作表施	55.3aA	57.2aA	44.9aA	43.7	51.2aA	49.8	44.8	46.6	43.7	40.7

(二)不同土层施肥对小麦吸氮特性的影响

1. 小麦的吸氮量　表3看出,小麦一生中全氮吸收量和^{15}N吸收量不同处理之间表现出平作表施>垄作底施>垄作中施>垄作表施。这种差异现象与各处理小麦的收获量直接相关。处理之间全氮吸收量和^{15}N吸收量差异很大,变化幅度分别为66.03～104.67kg/hm²和27.57～45.14kg/hm²。但处理之间氮素来源比例差异却很小,表现为小麦一生氮素吸收量中有55.9%～61.3%来源于土壤供氮,来自肥料中的氮素只有38.7%～44.1%。各处理对全氮和^{15}N的吸收累积量都以子粒最多(占总量的71.3%～75.7%),并呈现粒>根、叶>茎、壳的一般规律。

表 3　不同土层施肥小麦的吸氮量(kg/hm²)

Table 3　The amount of N uptaked by wheat in different soil layer fertilization

处理 Treatment		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	粒 Grain	壳 Hall	合计 Total
垄作表施	总N量 Total N	4.95	3.18	4.91	49.62	3.33	66.03
	^{15}N	1.98	1.25	1.91	21.11	1.34	27.57
垄作中施	总N量 Total N	6.54	3.81	6.24	61.32	3.09	81.00
	^{15}N	2.36	1.56	2.52	23.79	1.14	31.65
垄作底施	总N量 Total N	6.08	3.80	7.29	65.42	3.59	88.47
	^{15}N	2.09	2.21	3.29	29.51	1.94	39.02
平作表施	总N量 Total N	9.03	5.43	9.11	74.76	6.35	104.67
	^{15}N	3.84	2.24	3.72	32.70	2.64	45.14

2. 小麦对氮肥的利用率　用示踪法测得不同处理小麦成熟期各器官的氮肥利用率,结果列于表4。

表 4　不同处理小麦的产量和氮肥利用率

Table 4　Wheat yield and N recovery in different treatments

处理 Treatment	产量(kg/hm²) Yield	N肥利用率 N recovery(%)					
		根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	粒 Grain	壳 Hall	合计 Tol.
垄作表施	2162.3bB	1.04	0.66	1.00	11.12	0.70	14.52cB
垄作中施	2628.8aA	1.24	0.82	1.33	12.54	0.60	16.53bcB
垄作底施	2766.8aA	1.10	1.16	1.73	15.55	1.02	20.56abAB
平作表施	2992.5aA	2.02	1.18	1.96	17.23	1.39	23.78aA

从表4可知,处理间的氮肥利用率在14.52%～23.78%之间,属于偏低的范畴,这可能与施肥量偏大有关。土壤氮素供应和肥料氮素供应是作物稳产高产的两个重要氮素来源,不同作物对土壤氮素的依赖性虽然往往大于肥料氮素,但肥料氮素的供应也占有相当大的比重[6,9]。本试验结果表明,各处理间小麦体内来源于肥料中的氮素在40%左右,为27.57～45.14kg/hm²,可是施氮量(189.75kg/hm²)却是最大值的4.2倍,比我国一般为3.3倍左右的施氮量偏高了20%多。由此可以认为,针对该小麦品种的产量水平,本试验所有的4个处理用的施肥量有点偏大。

尽管本试验中没有氮肥过剩的肥害现象，但偏大的施肥量会增加生产成本并造成氮素损失。

从表4还看出，施肥位置的不同对土壤氮和肥料氮在各器官的分配比例影响很小。氮肥利用率是平作表施(23.78%)＞垄作底施(20.56%)＞垄作中施(16.53%)＞垄作表施(14.52%)。平作与垄作相比，垄作后氮肥利用率下降，平作的表层施肥与垄作的表层和中层施肥间差异极显著。垄作后随着肥料施用深度的增加氮肥利用率提高，表层施肥与底层施肥间达到显著差异水平。垄作施肥位置越深，氮肥利用率越高可能是随着氮肥深施，相对受微生物的影响以及降雨、灌溉冲刷等的影响较小，转化成气态氮挥发损失的量和被淋洗的数量减少[10,11]；同时，作物根系自身的生长发育及受施肥位置的共同影响，造成了根系对表层或施入深度较浅的肥料吸收利用相对减弱所致[1,12,13]。一般情况下，小麦根系可深达1.5～2m，但绝大部分根系分布在50cm的土层内。Gliemercth(1953)研究发现，砂土上54cm土层内不同深度的氮肥施用使大麦根系分布发生变化，氮肥浓度高的地方，生根密度可增加好几倍[13]；Fleige等(1981)研究发现，春小麦生育后期(从开花期开始)所吸收的全部磷中有30%～40%来自于30cm以下的底土，甚至70cm以下的底土也占到5%以上[13]；Strebel等(1983)对甜菜研究发现，甜菜整个生育期间有85%的硝酸盐是通过扩散提供的，由质流提供的仅占很小部分，而扩散提供的硝酸盐是依靠根的增殖穿入底土获得的[13]。由此可说明，作物是可以吸收深层土壤的养分、并且受其影响很大。对于本试验来说，氮肥深施深度的增加可激发根系的生长发育并深扎，以充分供应小麦后期的氮素营养，使其氮肥利用率不断提高。

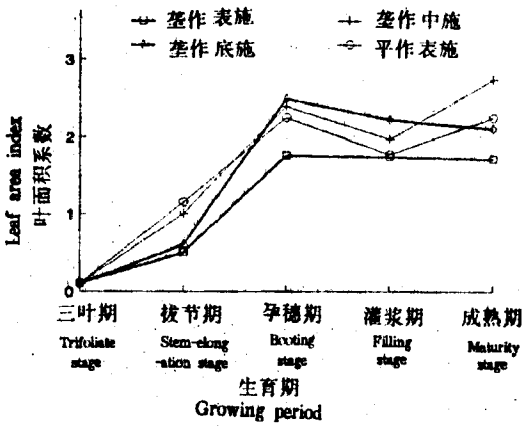

图1 不同土层施肥小麦叶面积系数的动态变化

Fig.1 The changes of leaf area index of wheat in different soil layer fertilization

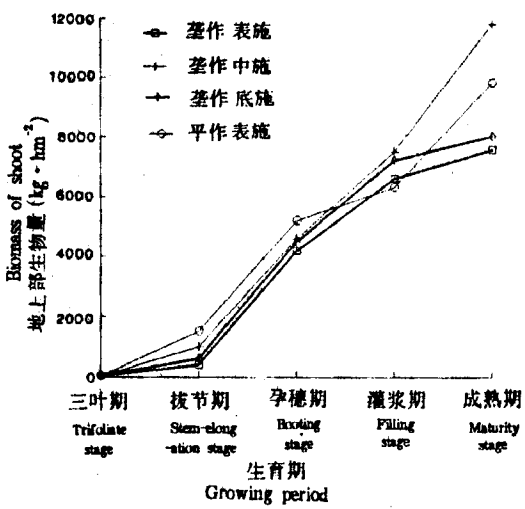

图2 不同处理小麦地上部生物量的动态变化

Fig.2 The changes of shoots biomass of wheat in different treatments

至于平作比垄作的氮肥利用率高的原因可能在于垄作后打乱了土壤原有耕层体系，短时期内难以改变垄作松散的土层结构，致使土壤中水、肥、气、热动态平衡较差，产生了不利于小麦生长发育的外部环境所致；也有可能是由于平作没有垄沟，而垄作除在原土表上聚成了有20cm左右高的垄厢外，垄厢之间有离原土表15cm左右的垄沟，在垄厢上的土体没达到合适的松紧度，使肥料渗漏和流失到垄沟中而损失的氮较多，被作物吸收利用的肥料氮相对减少所致。

(三)不同土层施肥对小麦生长发育的影响

从图1、图2可以看出,小麦叶面积系数、小麦生物量之间的动态变化很相似,即无论何种处理,随着叶面积系数的增加,小麦生物量一般都以同等的比例增加。垄作中施和平作表施的叶面积系数及生物量在小麦的不同生育期高于垄作表施和垄作底施。平作表施的叶面积系数及生物量明显高于垄作表施,说明对表层施肥来说,垄作对当季小麦的生长发育并不有利。

不同土层施肥的小麦产量以平作表施>垄作底施>垄作中施>垄作表施(表4)。垄作时表层施肥产量最低,与中层和底层施肥有极显著差异;平作的表层施肥比垄作的表层施肥可促进当季小麦的生长发育和增产。因此,生产上应根据不同的耕作方式,采用适当的施肥技术,以保证作物高产和提高施肥效益。

参 考 文 献

1 田中明等. 利用根箱对氮肥施肥位置的研究(日文). 日本土壤肥料学杂志, 1981, 52(6):469~474.

2 俊藤隆志. 施肥用机械的施肥位置(日文). 肥料,1991, 29(59):52~69.

3 曹志洪, 迪达塔 SK. 深施氮肥(^{15}N标记尿素)对稻田水层化学性质的影响及水稻对深施氮肥的回收率. 土壤学报,1983, 20(3):253~261.

4 Malhi SS, Nyborg M and Solberg ED. Recovery of ^{15}N-labelled urea as influenced by straw addition and method of placement. Canadian Journal of Soil Science, 1989, 69(3):543~550.

5 Nuttal WF and Button RG The effect of deep banding N and P fertilizer on the yield of canola (*Brassica napus* L.) and spring wheat(*Triticum aestivum* L.). Canadian Journal of Soil Science, 1990, 70(4):629~639.

6 徐志红,曹志洪,李庆逵. 尿素粒肥在石灰性砂壤土上对夏玉米效应及氮素去向的研究. 土壤学报,1987, 24(1):51~57.

7 陈实等. 聚土垄沟立体种植生态工程的能流物流分析初报. 土壤通报,1989, 20(6):241~244转251.

8 张先婉等. 南方旱地聚免耕耕作法与土壤培肥. 《土壤肥力研究进展》,中国科学技术出版社,1991, 7~13.

9 朱兆良等. 石灰性稻田土壤上化肥氮损失的研究. 土壤学报,1989, 26(4):337~343.

10 Rachhpal-Singh and Nye PH. A model of ammonia volatilization from applied urea Ⅳ. Effect of method of urea appliation. Journal of Soil Science, 1988, 39(1):9~14.

11 Vleck PLG, Byrnes BH and Craswell ET. Effect of urea placement on leaching losses of nitrogen from flooded rive soils. Plant and Soil, 1980, 54:441~449.

12 森崎铁兵. 蔬菜的根系发良和肥料形态的施肥位置(日文). 肥料,1991, 29(59):23~25。

13 马斯纳 H著(曹一平、陆景陵等译). 高等植物的矿质营养. 北京农业大学出版社,1991, 255~261。

STUDY ON THE EFFECT OF NITROGEN FERTILIER UNDER RIDGE CULTURE CONDITION ON WHEAT GROWTH AND N EFFICIENCY

Ai Yingwei Chen Shi Zhang Xianwan Xu Pei
(Inst. of Mountain Hazards and Enviroment, CAS, Chengdu 610041)

Fan Zhijin
(Dept. of Chemistry, Sichuan Normal Univ., Chengdu 610066)

Summary

A experiment on the effect of nitrogen fertilizer on growth of wheat under ridge culture(20cm ridge height) condition with different depth fertilization (1～2cm, 25cm and 45cm under ridge) and soil surface fertilization without ridge (normal culture) as control were conducted in field. Tracer N was used. The results showed that the deeper fertilization, the higher effect of N fertilizer in ridge culture treatments. The recovery rate which N fertilizer applied in 1～2cm layer under ridge was 14.52%, in the 25cm was 16.53% and in the 45cm was 20.56%. The recovery rate of N fertilizer was 23.78% in surface fertilization without ridge.

Leaf area index and biomass of shoot and root of wheat at different growth stage of wheat while the N applied in 5cm under ridge or in surface non-ridge were better than other treatments. Therefore, under ridge culture condition, the N fertilizer application with a suitable depth of soil should be considered.

Key words Wheat Ridge culture Place of fertilization