

底肥分层条施提高冬小麦干物质积累及产量

温 樱, 王 东*

(山东农业大学农学院/作物生物学国家重点实验室/农业部作物生理生态与耕作重点实验室, 山东泰安 271018)

摘要:【目的】探讨底肥按比例分层条施对冬小麦群体动态变化、干物质积累与分配及籽粒产量的调节作用, 为创建合理的耕层供肥条件提供理论依据。【方法】于2014~2015年和2015~2016年冬小麦生长季, 在大田条件下, 设置5种底肥施用方式: 不施底肥(T1); 底肥单层条施在地表下8、16和24 cm(T2、T3和T4); 底肥按1:2:3分为三份, 分别施在地表下8、16和24 cm土层(T5)。各处理均于拔节期随灌溉水追施氮肥, 施肥量一致。调查了小麦关键生育期的生长和发育状况以及养分利用率。【结果】底肥单层条施时, 在一定范围内随施肥深度增加, 冬小麦分蘖和成穗数减少, 但穗粒数显著增加, 开花后干物质同化量提高, 成熟期单茎干物质在各器官中的分配量增加, 尽管开花后营养器官贮存的干物质向籽粒中的转移再分配受到抑制, 但籽粒产量仍有一定程度的提高。与T4相比, T5的穗粒数和千粒重无明显变化, 但植株分蘖和成穗数显著提高, 开花后单位面积干物质积累量和籽粒产量均显著增加。【结论】通过优化养分在耕层土壤的分布, 调节各生育阶段的养分供给, 进而协调开花后干物质同化与营养器官临时贮存干物质再分配, 及穗数与穗粒重之间的关系, 在增加穗数的同时仍保持较高的穗粒数和千粒重, 是底肥按比例分层条施实现冬小麦高产的重要原因。

关键词: 冬小麦; 分层施肥; 干物质积累与分配; 籽粒产量

Basal fertilization in strips at different soil depths to increase dry matter accumulation and yield of winter wheat

WEN Ying, WANG Dong*

(Colleg of Agronomy, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System, Ministry of Agriculture, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract:【Objectives】The effect of basal fertilizer layered at different soil depths and in stripes with different proportion on the dry matter accumulation and yield of winter wheat was studied in this paper, in order to provide a theoretical basis for reasonable fertilizer application in topsoil.【Methods】A 2-year field study was carried out from 2014 to 2016. Five treatments were set up: no basal fertilizer (T1); basal fertilizer was applied in stripes in 8 cm depth (T2), 16 cm (T3) and 24 cm (T4); basal fertilizer was divided into three parts with the proportion of 1:2:3 and applied in stripes of 8, 16 and 24 cm depths of soil (T5). All the treatments were top-dressed with the same amount of nitrogen fertilizer in jointing stage. The growth and nutrient use efficiency in the key growing stages of wheat were investigated.【Results】Among treatments of T2, T3 and T4, the tiller and ear number of winter wheat were reduced with the increase of fertilization depth, but the grain number per spike was significantly increased; the dry matter assimilation after the anthesis and the allocation amount of dry matter in different organs at the maturity were improved; the grain yields were increased, although the redistribution of dry matter from vegetative organs to grain after the anthesis were restrained. Compared to T4, the grain number per spike and 1000-grain weight were not significantly increased in T5, while the tillers and the ear number were

收稿日期: 2016-09-30 接受日期: 2017-02-17

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503130); 国家自然科学基金项目(31271660); 山东省农业重大应用技术创新课题资助。

作者简介: 温樱(1991—), 女, 山东招远人, 硕士研究生, 主要从事小麦高产高效栽培理论与技术研究。

E-mail: wenyingyx1991@163.com。 *通信作者 Tel: 0538-8240096, E-mail: wangd@sda.edu.cn

increased significantly; the amount of dry matter accumulation and grain yield were significantly increased as well. **[Conclusions]** Layered and in proportion basal fertilization could increase ear number, the grain number per spike and 1000-grain weight, which coordinates the relationship between the dry matter assimilation and the dry matter redistribution from vegetative organs to grains after the anthesis. Therefore, optimizing the distribution of nutrient in the whole root layer of soil could regulate nutrient supply at each growth stage of winter wheat, thus lead to high yield.

Key words: winter wheat; separated-layer fertilization; dry matter accumulation and distribution; grain yield

肥料对粮食产量的贡献率高达 40% 以上, 对保障国家粮食安全和促进农民增收有重要作用^[1-2]。然而, 近年来在小麦生产中由于盲目追求高产, 肥料投入量过大, 不仅浪费资源、增加成本、降低肥料利用效率, 而且污染环境^[3]。不当的施肥方式亦会导致氨挥发和氧化亚氮排放等气态氮素损失、硝态氮淋失及磷素在土壤表层大量积累等问题, 增加温室效应和水体富营养化的风险。有研究表明, 深层土壤剖面养分缺乏是影响小麦产量潜力发挥的一个重要原因^[4]。肥料表层撒施改为深施, 可大幅提高作物的肥料利用率^[5]。与肥料浅施处理相比, 肥料深施显著增加作物氮、磷、钾吸收量, 氮磷利用率分别提高 20.9%~41.1% 和 7.1%~15.4%^[6]。潘幸来等^[7]的研究也表明, 黄土高原表层熟土的养分含量高, 而深层生土较贫瘠, 肥料深施能显著提高作物产量。另有研究认为, 在干旱地区由于表层土壤水分散失较快, 含水量通常较低, 影响上层土壤养分的有效性, 导致作物对养分的吸收利用效率降低^[8]。在 0—20 cm 土层重度水分胁迫条件下, 于 20—60 cm 土层深施肥的处理小麦穗数显著高于在 0—20 cm 土层施肥的处理^[9]。旱地条件下, 氮肥深施至 20 cm 可显著增加冬小麦开花后干物质积累量, 提高千粒重^[10]。深层施肥亦有利于地膜春小麦各生育时期地上部干物质积累量的提高, 尤其促进开花后干物质的积累^[11]。而在水浇地条件下不同深度施肥对小麦的调节作用还鲜有报道。另外, 有研究指出将肥料分层施用, 深浅结合, 可获得更高的产量和肥料偏生产力^[4, 12]。因此亟待开展关于土壤养分空间供给结构对作物产量和养分吸收利用调节作用与机理的系统研究。本试验在水浇地高产条件下, 设置底肥单层条施和按比例分层条施处理, 研究各处理冬小麦群体发育和干物质积累与分配的差异, 以期揭示分层施肥实现冬小麦增产的生理基础, 为创建合理的耕层供肥条件提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2014~2015 年和 2015~2016 年冬小麦生长季在山东省肥城市边院镇南仇村 (35.99°N, 116.88°E) 大田进行。供试冬小麦品种为山农 24。前茬种植夏玉米, 水肥统一管理, 玉米收获后秸秆全部粉碎还田。2014 年冬小麦播种前试验地 0—20 cm 土层含有有机质 15.1 g/kg、全氮 0.8 g/kg、碱解氮 92.40 mg/kg、有效磷 54.65 mg/kg 和速效钾 106.50 mg/kg。

试验设置 T1~T5 共 5 种不同的底肥施用方式, 其中, T1 处理不施底肥; T2、T3 和 T4 处理均为底肥单层条施, 施肥深度分别为 8、16 和 24 cm; T5 处理为底肥分层条施, 施在 8、16 和 24 cm 土层深处的肥料用量分别占总底肥用量的 1/6、2/6 和 3/6, 即三者的比例为 1:2:3。采用双旋耕按比例分层施肥宽苗幅精量播种机 (ZL201521098389.4)^[13] 分层施肥并播种。小麦条播的实际行距为 22.9 cm, 每隔两行小麦在行间条施一行底肥, 底肥条施的实际行距为 45.8 cm。底肥使用 N、P₂O₅、K₂O 含量各为 15% 的三元复合肥, 施用量为 900 kg/hm²。各处理均于小麦拔节期采用肥水一体化灌溉系统 (ZL201410499375.7)^[14], 在灌水的同时追施尿素 (含 N 46%) 150 kg/hm²。追肥时先将所需追施的尿素溶解成肥液, 再将肥液注入水管, 使其随灌溉水均匀施入田间。

采用随机区组排列, 每处理 3 次重复, 小区面积为 42 m²(2 m × 21 m)。2014~2015 年度的试验于 2014 年 10 月 12 日播种, 2015 年 6 月 15 日收获, 种植密度为 180 × 10⁴ plants/hm²。2015~2016 年度的试验于 2015 年 10 月 10 日播种, 2016 年 6 月 9 日收获, 种植密度为 120 × 10⁴ plants/hm²。其他管理措施同一般高产田。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 干物质积累与分配的测定 于越冬前期、返青期、拔节期、开花期和成熟期调查单位面积总茎数并采集植株样品, 其中越冬前期、返青期、拔节期

取整株, 开花期按叶、茎秆+叶鞘、穗分样, 成熟期按叶、茎秆+叶鞘、穗轴+颖壳和籽粒分样, 70℃ 烘至恒重, 称干重并按以下公式^[15-16]计算:

各器官干物质分配比例 = 各器官的干物质积累量/植株地上部干物质积累量 × 100%

开花前营养器官贮存干物质转运量 (g/stem) = 开花期地上部干重 - 成熟期地上部营养器官干重

开花前营养器官贮存干物质转运率 = (开花期地上部干重 - 成熟期地上部营养器官干重)/开花期地上部干重 × 100%

开花后同化的干物质输入籽粒量 (g/stem) = 成熟期籽粒干重 - 开花前营养器官贮存干物质转运量

开花前营养器官贮存干物质转运量对籽粒产量的贡献率 = 开花前营养器官贮存干物质转运量/成熟期籽粒干重 × 100%

开花后同化的干物质对籽粒产量的贡献率 = 开花后同化的干物质输入籽粒量/成熟期籽粒干重 × 100%

1.2.2 成熟期籽粒产量的测定 于成熟期调查每公顷穗数、穗粒数和千粒重, 每个试验小区收获 3 m² 脱粒, 自然风干至籽粒含水量为 12.5% 左右时称重, 并折算成公顷产量。

1.3 数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据计算和绘图, 用 DPS 7.05 统计分析软件进行差异显著性检验 (LSD 法)。

2 结果与分析

2.1 不同处理对冬小麦产量及其构成因素的影响

由表 1 可以看出, 两个年度试验结果基本一致。各单层条施肥处理的穗数随施肥深度的增加呈降低趋势, 而穗粒数、千粒重和籽粒产量均随施肥深度的增加呈升高趋势。T1 处理的穗数与 T4 处理的无显著差异, 但籽粒产量显著低于 T2、T3 和 T4 处理的。T5 处理的穗粒数和千粒重与 T4 处理的无显著差异, 但穗数和籽粒产量均显著高于 T4 处理的。说明底肥单层条施时, 增加施肥深度会降低成穗数, 但穗粒数增加, 产量有一定程度的提高。底肥按 1 : 2 : 3 的比例分层条施, 小麦成穗数、穗粒数和千粒重均达到较高水平, 与各单层条施肥处理相比籽粒产量显著提高。

2.2 不同处理对冬小麦群体发育动态的影响

表 2 表明, 各处理第一年度各生育时期的单位面积茎数均高于第二年度的, 这与第二年度种植密度降低有关。各单层条施处理 (T2、T3 和 T4) 之间比较, 各生育时期单位面积茎数两年度均随施肥深度的增加呈降低趋势, 成穗率则无明显变化。T1 处理越冬前期的单位面积茎数显著低于其余处理, 返青期、拔节期和开花期的单位面积茎数与 T4 处理的无显著差异。T4 处理各生育时期的单位面积茎数均

表 1 不同处理冬小麦产量及其构成因素

Table 1 Yield and its components of winter wheat under different treatments

处理 Treatment	穗数 ($\times 10^4/\text{hm}^2$) Number of spike	穗粒数 Grains per spike	千粒重 (g) 1000-grain weight	籽粒产量 (kg/hm^2) Grain yield
2014~2015				
T1	648.7 b	38.9 c	36.8 b	7985 d
T2	703.8 a	38.0 c	38.0 a	8638 c
T3	689.6 a	40.5 b	38.4 a	8810 bc
T4	646.5 b	44.0 a	38.6 a	9056 b
T5	681.0 a	43.7 a	38.9 a	9533 a
2015~2016				
T1	457.2 c	51.6 c	46.7 a	7370 d
T2	583.5 a	45.0 d	43.3 c	7763 c
T3	503.3 b	55.9 b	44.9 b	7822 bc
T4	465.1 c	58.6 a	46.5 a	8148 b
T5	507.6 b	57.5 a	46.1 a	8674 a

注 (Note) : 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same column indicate significant difference at 5% level among the treatments.

表2 不同生育时期各处理冬小麦单位面积茎数的变化

Table 2 Changes of stem numbers per unit area at different growth stages of winter wheat under different treatments

处理 Treatment	单位面积茎数 Stem number per unit area ($\times 10^4/\text{hm}^2$)				成穗率 (%) Earing rate
	越冬前期 Pre-winter	返青期 Reviving	拔节期 Jointing	开花期 Anthesis	
2014~2015					
T1	1005 c	2052 b	2391 c	656 b	27.4 a
T2	1118 a	2276 a	2495 a	719 a	28.8 a
T3	1104 a	2197 a	2484 ab	697 a	28.1 a
T4	1051 b	2082 b	2431 bc	649 b	26.7 a
T5	1112 a	2209 a	2469 ab	696 a	28.2 a
2015~2016					
T1	716 d	804 d	1084 c	471 c	43.5 a
T2	912 a	996 a	1868 a	600 a	32.1 b
T3	780 c	880 bc	1456 b	523 b	35.9 b
T4	768 c	843 cd	1124 c	479 c	42.6 a
T5	852 b	928 b	1448 b	512 b	35.4 b

注 (Note) : 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same column indicate significant difference at 5% level among the treatments.

低于 T5 处理, 成穗率在第一年度与 T5 处理的无显著差异, 第二年度则明显高于 T5 处理的。说明底肥单层条施于 8 cm 土层或按 1:2:3 的比例分层条施可促进冬小麦分蘖, 增加成穗数; 底肥单层条施深度过大 (24 cm) 对冬小麦分蘖不利, 但对成穗率无不利影响。

2.3 不同处理对冬小麦干物质积累动态的影响

两年度试验均表明, 各处理越冬前期和返青期的干物质积累量无显著差异 (图 1)。T1 处理拔节期、开花期和成熟期的干物质积累量显著低于其余处理, T5 处理开花期和成熟期的干物质积累量高于其余处理。各单层条施处理 (T2、T3 和 T4) 之间比

较, 成熟期干物质积累量随施肥深度的增加呈升高趋势, 但差异未达显著水平。表明在一定土层深度范围内, 底肥单层条施时, 不同施肥深度对小麦各生育时期干物质积累量的调节效应差异较小, 底肥按 1:2:3 的比例分层条施比底肥单层条施可显著促进小麦拔节后干物质的积累。

2.4 不同处理对冬小麦成熟期干物质在各器官分配的影响

表 3 表明, 两年度成熟期茎秆+叶鞘和籽粒中分配的干物质量均以 T1 处理最低。各单层条施处理之间, 表现为随着施肥深度的增加, 冬小麦成熟期积累的干物质在各器官中的分配量均呈增加趋势。但

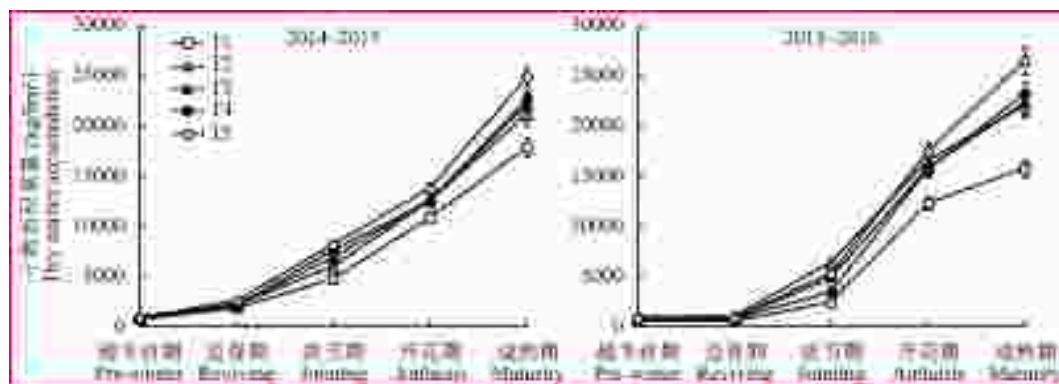


图1 不同生育时期各处理冬小麦干物质积累量的变化

Fig. 1 Changes of dry matter accumulation at different growth stages of winter wheat under different treatments

表3 不同处理冬小麦成熟期干物质在各器官的分配

Table 3 Dry matter distribution in different organs at the maturity stage of winter wheat under different treatments

处理 Treatment	茎秆 + 叶鞘 Stem and sheath		叶片 Leaf		穗轴 + 颖壳 Spike axis and glume		籽粒 Grain	
	质量 (g/stem) Weight	比例 (%) Ratio	质量 (g/stem) Weight	比例 (%) Ratio	质量 (g/stem) Weight	比例 (%) Ratio	质量 (g/stem) Weight	比例 (%) Ratio
2014~2015								
T1	0.747 e	27.0 b	0.234 c	8.5 a	0.283 d	10.2 a	1.503 d	54.3 a
T2	0.825 d	27.5 b	0.254 bc	8.4 a	0.297 cd	9.9 a	1.629 c	54.2 a
T3	0.912 c	28.4 a	0.262 bc	8.2 a	0.317 bc	9.9 a	1.720 b	53.6 ab
T4	1.013 b	28.8 a	0.280 ab	8.0 a	0.341 ab	9.7 a	1.884 a	53.6 ab
T5	1.065 a	29.1 a	0.296 a	8.1 a	0.350 a	9.6 a	1.952 a	53.3 b
2015~2016								
T1	0.784 e	22.7 d	0.236 d	6.8 c	0.448 d	13.0 a	1.984 d	57.5 a
T2	0.931 d	24.7 c	0.276 d	7.3 c	0.488 c	12.9 a	2.077 c	55.1 b
T3	1.152 c	25.8 b	0.339 c	7.6 bc	0.554 b	12.4 ab	2.412 b	54.1 bc
T4	1.339 b	26.7 b	0.421 b	8.4 ab	0.584 ab	11.7 b	2.662 a	53.2 c
T5	1.465 a	28.0 a	0.470 a	9.0 a	0.598 a	11.4 b	2.702 a	51.6 d

注 (Note) : 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same column indicate significant difference at 5% level among the treatments.

干物质在各器官中的分配比例, 第一年度各处理之间多数差异不显著; 第二年度, 随施肥深度的增加, 干物质在茎秆+叶鞘和叶片中的分配比例呈增加趋势, 而在穗轴+颖壳和籽粒中的分配比例则呈降低趋势。T5 处理与 T4 处理比较, 第一年度除干物质在茎秆+叶鞘中的分配量显著增加外, 在其余器官中的分配量均无显著差异; 第二年度干物质在茎秆+叶鞘中的分配量和分配比例均显著增加, 在籽粒中的分配量无显著变化, 但分配比例显著降低。说明适当增加底肥单层条施的深度可促进干物质在植株各器官中的分配与积累; 与底肥单层条施于 24 cm 土层的处理相比, 底肥按 1:2:3 的比例分层条施可显著增加干物质在茎秆+叶鞘中的分配量, 对干物质在籽粒中的分配量无显著影响, 甚至会降低干物质在籽粒中的分配比例。

2.5 不同处理对冬小麦开花后干物质同化和再分配的影响

从表 4 可知, 各单层条施处理之间比较, 随施肥深度增加, 两年度均表现为开花前营养器官贮存干物质向籽粒中的转运量降低, 转运率及对籽粒的贡献率亦呈降低趋势; 第一年度, T4 处理开花后同化的干物质输入籽粒量及其对籽粒的贡献率与 T3 处理无显著差异, 但显著高于 T2 处理。第二年度, 开花后同化的干物质输入籽粒量及其对籽粒的贡献率

均随施肥深度的增加而显著增加。与 T4 处理比较, T5 处理两年度均表现为开花前营养器官贮存干物质向籽粒中的转运量及其对籽粒的贡献率均降低, 但开花后同化的干物质输入籽粒量及其对籽粒的贡献率显著升高。说明底肥分层条施可促进花后干物质的同化, 但不利于开花前营养器官贮存的干物质向籽粒中的转移。

3 讨论

肥料施用深度和方式对作物养分吸收和产量形成有明显调节作用。插秧前将肥料撒于地表后再旋耕混匀, 与传统的地表撒施相比, 有利于水稻根系生长, 并促进其对养分的吸收, 显著提高成穗率和籽粒产量^[17]。将氮肥深施至 15 cm 亦有利于玉米根系对氮素的吸收利用, 有效减少氨挥发和硝态氮淋溶损失, 提高玉米有效穗数、穗粒数和千粒重, 显著增加籽粒产量^[18]。在旱地条件下, 氮肥深施至 20 cm 可显著增加冬小麦开花后干物质积累量, 提高千粒重; 继续增加施氮深度至 30 cm 时籽粒产量再无显著变化^[19]。深层施肥亦有利于地膜春小麦各生育时期地上部干物质积累量的提高, 尤其促进开花后干物质的积累^[11]。本试验在水浇地条件下, 将氮磷钾三元复合肥作底肥分别施于不同深度土层, 也得到了与上述研究相似的结果, 即适当增加底肥单层条施

表4 不同处理冬小麦开花前贮存干物质及花后同化干物质向籽粒的再分配

Table 4 Translocation to grain from dry matter accumulated before anthesis and photo assimilation after anthesis in winter wheat under different treatments

处理 Treatment	贮存干物质 DMABA			同化干物质 DMPAAA	
	转运量 (g/stem) Amount	转运率 (%) Ratio	对籽粒贡献率 (%) Contribution to grain	输入籽粒量 (g/stem) Amount	对籽粒贡献率 (%) Contribution to grain
2014~2015					
T1	0.397 a	23.9 a	27.4 a	1.050 c	72.6 c
T2	0.391 a	22.1 a	26.4 a	1.092 c	73.6 c
T3	0.326 b	17.9 b	20.6 b	1.257 b	79.4 b
T4	0.299 c	15.5 c	19.9 b	1.204 b	80.1 b
T5	0.272 d	13.7 c	15.1 c	1.529 a	84.9 a
2015~2016					
T1	1.148 a	35.1 b	57.9 a	0.836 e	42.1 e
T2	1.064 b	38.7 a	51.2 b	1.013 d	48.8 d
T3	0.982 c	28.6 c	40.7 c	1.430 c	59.3 c
T4	0.925 d	27.1 cd	34.8 d	1.737 b	65.2 b
T5	0.876 e	25.9 d	32.4 e	1.826 a	67.6 a

注 (Note) : DMABA—Dry matter accumulated before anthesis; DMPAAA—Dry matter from photo assimilation after anthesis. 同列数据后不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same column indicate significant difference at 5% level among the treatments.

的深度可促进单茎干物质的积累及其在各器官中的分配,但单位面积植株干物质积累量变化较小,这与植株分蘖和成穗数随施肥深度增加而减少有关。本试验结果还表明,第一年度成熟期单茎干物质在各器官中的分配比例,不同施肥深度处理间大多差异不显著,第二年度则表现为随施肥深度的增加,单茎干物质在茎秆+叶鞘和叶片中的分配比例呈增加趋势,在穗轴+颖壳和籽粒中的分配比例则呈降低趋势,说明施肥深度对成熟期干物质在各器官分配比例的调节作用存在年际间的差异,也可能与两年度群体的大小不同有关,二者是否存在互作,有待进一步探讨。

前人利用土钻打眼分层施肥的方法,分别在地表下 10 cm、30 cm 和 50 cm 深处施入氮肥和磷肥,结果表明可显著提高小麦穗粒数和千粒重,其籽粒产量比地表下 10 cm 单土层施肥处理提高了 42%^[4]。还有土柱试验结果表明,氮肥集中施于 0~30 cm 土层对冬小麦生物量形成有一定抑制作用,而均匀施入 0~90 cm 土层可显著促进植株干物质积累,特别是在上层土壤干旱胁迫时,这种趋势更明显^[19]。也有研究认为,磷肥集中深施于地表下 15 cm,比集中施于地表下 5 cm 或按 1:1 的比例同时施于地表下

5 和 15 cm,夏玉米籽粒产量增加 5.9%~10.6%,且磷肥集中深施效果优于分层施,分层施效果优于浅施^[20]。本试验在大田条件下,采用宽苗幅精量播种机在小麦播种的同时将氮磷钾三元复合肥按 1:2:3 的比例分层条施于地表下 8、16、24 cm 土层,与底肥单层条施于 24 cm 深处的处理相比,有利于小麦分蘖,可显著提高成穗数,而单茎干物质在籽粒中的分配量无显著变化,其穗粒数和千粒重仍保持较高水平,因此开花后单位面积干物质积累量和籽粒产量均显著提高,增产率达 5.3%~6.4%;与底肥单层条施于 8 cm 深处的处理相比,增产率可达 10.4%~11.7%。这说明底肥按比例分层条施可优化养分在耕层土壤中的分布,调节冬小麦各生育阶段的养分供给,进而协调穗数和穗粒重之间的关系。在增加穗数的同时,仍保持较高的穗粒数和千粒重是分层施肥调节冬小麦实现增产的重要原因。

4 结论

水浇地麦田适当增加底肥单层条施的深度可促进单茎干物质积累及其在各器官中的分配,但单位面积植株干物质积累量变化较小,这与植株分蘖和成穗数随施肥深度增加而减少有关。底肥按比例分

层条施可优化养分在耕层土壤中的分布, 调节各生育阶段的养分供给, 进而协调开花后干物质同化与营养器官临时贮存干物质再分配, 及穗数与穗粒重之间的关系, 在增加穗数的同时仍保持较高的穗粒数和千粒重, 获得较高的籽粒产量。

参 考 文 献:

- [1] 金继运, 林葆. 化肥在农业生产中的作用和展望[J]. 作物杂志, 1997, (2): 5–9.
Jin J Y, Lin B. Function of chemical fertilizer on crop production and its prospect[J]. Crops, 1997, (2): 5–9.
- [2] 高士云, 王健. 谈谈化学肥料施用技术在农业生产中的重要作用[J]. 农业与技术, 2013, (8): 13.
Gao S Y, Wang J. Talk about the important function of chemical fertilizer application technology in agricultural production[J]. Agriculture and Technology, 2013, (8): 13.
- [3] 高继明. 化学肥料在农业生产中的科学施用[J]. 农业科技与信息, 2012, (7): 37–38.
Gao J M. Scientific application of chemical fertilizers in agricultural production[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2012, (7): 37–38.
- [4] 耿伟, 薛绪掌, 王志敏. 肥料分层深施对旱作冬小麦光合生理特性及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2006, 26(3): 166–168.
Geng W, Xue X Z, Wang Z M. Effects of deep fertilization on photosynthetic characteristics and yield of winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2006, 26(3): 166–168.
- [5] 赵世伟, 陈国良. 施肥方法对改善肥料氮素运移及肥效的影响[J]. 水土保持研究, 1996, 3(1): 179–184.
Zhao S W, Chen G L. The effect of fertilizer apply methods on improving nitrogen transport and increasing crop yield[J]. Research of Soil and Water Conservation, 1996, 3(1): 179–184.
- [6] 王应君, 王淑珍, 郑义. 肥料深施对小麦生育性状、养分吸收及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(9): 276–280.
Wang Y J, Wang S Z, Zheng Y. Effects of deep application of fertilizer on growth character, absorption of nutrition and yield in wheat[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(9): 276–280.
- [7] 潘幸来, 孙来虎, 王永杰, 等. 黄土高原冬小麦及苜蓿的根系构形特征[J]. 麦类作物学报, 1997, 17(1): 32–35.
Pan X L, Sun L H, Wang Y J, et al. Root architecture characteristics of winter wheat and alfalfa in Loess Plateau[J]. Journal of Triticeae Crops, 1997, 17(1): 32–35.
- [8] 郭松林, 吴洁, 唐海红, 等. 施肥深度对半干旱区冬小麦生物量及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2010, 30(1): 1–13.
Guo S L, Wu J S, Tang T H, et al. Impacts of fertilizer practices on environmental risk of nitrate in semiarid farmlands in the Loess Plateau of China[J]. Plant and Soil, 2010, 330(1): 1–13.
- [9] 郭宁, 李文斌, 沈玉芳, 李世清. 施肥深度对半干旱区冬小麦生物学性状及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2011, 31(3): 504–507.
Guo N, Li W B, Shen Y F, Li S Q. Effects of fertilization depth on biological character and yield of winter wheat in semi arid region[J]. Journal of Triticeae Crops, 2011, 31(3): 504–507.
- [10] 段文学, 于振文, 石玉, 等. 施氮深度对旱地小麦耗水特性和干物质积累与分配的影响[J]. 作物学报, 2013, 39(4): 657–664.
Duan W X, Yu Z W, Shi Y, et al. Effects of nitrogen application depth on water consumption characteristics and dry matter accumulation and distribution in rainfed wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(4): 657–664.
- [11] 靳奇峰, 牛俊义. 施肥深度对地膜春小麦干物质积累的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2010, 45(5): 63–66.
Jin Q F, Niu J Y. Effect of fertilizer application depth on dry matter accumulation in spring wheat mulched with plastic film[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2010, 45(5): 63–66.
- [12] 王锡久, 孙茂真, 许卫霞, 等. 深松分层施肥技术对冬小麦产量及其构成因子的影响[J]. 山东农业科学, 2015, 47(3): 76–79.
Wang X J, Sun M Z, Xu W X, et al. Effects of subsoiling and layered fertilization technology on winter wheat yield and its components[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2015, 47(3): 76–79.
- [13] 王东, 温樱. 双旋耕按比例分层施肥宽幅精量播种机[P]. 中国: 201521098389.4, 2016-05-25.
Wang D, Wen Y. Precise and wide seedling seeder with twin twist plow, and separated-layer fertilization in proportion to soil depth[P]. China: 201521098389.4, 2016-05-25.
- [14] 王东, 苑进. 小麦玉米周年生产变量肥水一体化灌溉系统: 中国, 201410499375.7[P]. 2014-12-17.
Wang D, Yuan J. Variable rate irrigation system with integrated fertilizer and water management for whole-year cultivation of wheat-maize rotation: China, 201410499375.7[P]. 2014-12-17.
- [15] Papakosta D K, Gagianas A A. Nitrogen and dry matter accumulation, translocation, and losses for mediterranean wheat during grain filling[J]. Agronomy Journal, 1991, 83(5): 864–870.
- [16] 屈会娟, 李金才, 沈学善, 等. 种植密度和播期对冬小麦兰考矮早八干物质和氮素积累与转运的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(1): 124–131.
Qu H J, Li J C, Shen X S, et al. Effects of plant density and seeding date on accumulation and translocation of dry matter and nitrogen in winter wheat cultivar Lankao Aizao 8[J]. Acta Agronomica Sinica, 2009, 35(1): 124–131.
- [17] 张满鸿. 机械化肥深施与撒施的对比试验及效果分析[J]. 福建农机, 2004, (2): 25–26.
Zhang M H. Effectiveness analysis and contrast test for deep mechanized and spread application of chemical fertilizer[J]. Fujian Agricultural Machinery, 2004, (2): 25–26.
- [18] 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.
Yu X F, Gao J L, Ye J, et al. Effects of deep loosening with nitrogen deep placement on root growth, grain yield and nitrogen use efficiency of super high-yield spring maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2013, 21(1): 114–119.
- [19] 沈玉芳, 李世清, 邵明安. 水肥空间组合对冬小麦生物学性状及生物量的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(8): 114–119.
Shen Y F, Li S Q, Shao M A. Effects of water and fertilizer spatial coupling on biological characteristics and biomass of winter wheat[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40(8): 114–119.
- [20] 赵亚丽, 杨春收, 王群, 等. 磷肥施用深度对夏玉米产量及养分吸收的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(23): 4805–4813.
Zhao Y L, Yang C S, Wang Q, et al. Effects of phosphorus placement depth on yield and nutrient uptake of summer maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(23): 4805–4813.