

Research and Evaluations on Plant Nutrition in the Field of **Agriculture** and Forestry

Editor
Hasan Basri Karayel

BIDGE Publications

Research and Evaluations on Plant Nutrition in the Field of
Agriculture and Forestry

Editor: Assoc.Prof.Dr. Hasan Basri Karayel

ISBN: 978-625-372-480-1

Page Layout: G zde Y CEL

1st Edition:

Publication Date: 25.12.2024

BIDGE Publications,

All rights of this work are reserved. It cannot be reproduced in any way without the written permission of the publisher and editor, except for short excerpts to be made for promotion by citing the source.

Certificate No: 71374

Copyright   BIDGE Publications

www.bidgeyayinlari.com.tr - bidgeyayinlari@gmail.com

Krc Bilişim Ticaret ve Organizasyon Ltd. şti.

G zeltepe Mahallesi Abidin Daver Sokak Sefer Apartmanı No: 7/9  ankaya /
Ankara



Content

The Importance of Plant Nutrients on Human Health	4
Sahriye SÖNMEZ.....	4
İlker SÖNMEZ.....	4
Kükürt' ün Bitkisel Üretimde Verim ve Kaliteye Etkisi.....	31
Figen ERASLAN İNAL	31
Agronomic Biofortification Applications in Agriculture.....	76
İlker SÖNMEZ.....	76
Sahriye SÖNMEZ.....	76

CHAPTER I

The Importance of Plant Nutrients on Human Health

Sahriye SÖNMEZ¹
İlker SÖNMEZ²

Introduction

It is known that the human body consists of many elements and that there are at least 25 elements in the human body. Almost 99% of the human body mass consists of 6 elements. These are oxygen (65%), carbon (18%), hydrogen (10%), nitrogen (3%), calcium (1.4%) and phosphorus (1.1%), respectively. The remaining 1.5% consists of potassium, sulfur, sodium, chlorine, magnesium and trace amounts of boron, chromium, cobalt, copper, fluorine, iodine, iron, manganese, molybdenum, selenium, silicon, tin, vanadium and zinc. It is known that these elements are found in the

¹ Prof. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Antalya/TÜRKİYE, Orcid: 0000-0003-2753-2296, ssonmez@akdeniz.edu.tr

² Doç.Dr., Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Antalya/TÜRKİYE, Orcid: 0000-0001-7264-7805, ilkersonmez@akdeniz.edu.tr

cells that make up the human body as well as in the extracellular structures outside the cell membrane. (Anonim, 2024a)

The human body consists of approximately 60% water, which corresponds to an average of 42 liters. It is known that 23 liters of this is inside the cells and 19 liters outside the cells. The content, acidity and composition of the water inside and outside the cells are carefully preserved. While sodium and chlorine constitute the main electrolytes in the body water outside the cells, potassium and other phosphates constitute those inside the cells (Barret & et all. , 2019). Since water occupies a large area in the human body, both inside and outside the cells, it is not surprising that the amount of oxygen in the human body is also high. Carbon, which is the basic building block of organic molecules such as carbohydrates, fats, nucleic acids and proteins, comes in second place. It is known that other elements have very important functions in the human body (Anonim, 2024b)

These elements, which have very important functions for human health, are also known as nutrients. These nutrients are essential for the healthy growth and development of both humans and plants. These elements, which are necessary for plants to complete their growth and normal development and which no other chemical element can replace in terms of its own functions, are called plant nutrients (Gezgin and Hamurcu, 2006). According to the needs of plants, these elements are divided into macronutrients and micronutrients. Plants need macronutrients in large amounts and there are large amounts of these nutrients in the plant. Plants need very few micronutrients and they are found in very small amounts in the plant (White, 2006, Gardiner and Miller, 2008; Fageria, 2009). In humans, as in plants, nutrients are called macronutrients and micronutrients. Macronutrients, as in plants, are required in large

quantities and are incorporated into the structure of proteins, carbohydrates and fats necessary for human metabolism. Micronutrients are needed in small amounts and are necessary for body functions such as enzyme function, hormone production and the immune system (Anonim, 2024c).

These macro and micro nutrients are taken from the soil by plants and consumed by humans through food. Deficiency or excess of nutrients creates serious problems for both plant and human health.

This section includes information on the effects of plant nutrients on human health

Plant Nutrients

Nutrients are inorganic substances that are commonly found in nature and are not lost during heat or other manual processes used in food processing, and are needed for the growth and development of the body, the maintenance of life and the protection of health (Çomak, 2008). Although they constitute a very small portion of our body, such as 4-6%, they are a group of essential nutrients that form the body structure and regulate many functions. They are also found in bones, teeth, muscles, blood and other tissues (Karadağ, 2011). Nutrients that are over 250 mg of daily requirements of people are macronutrients, and sodium, potassium, chlorine electrolytes, calcium, magnesium and phosphorus are in this group. Chromium, copper, fluoride, iodine, iron, manganese, molybdenum, selenium and zinc have a daily requirement of less than 20 mg, and they constitute the micronutrient group. Of these micronutrient elements, only iron, zinc, iodine and selenium are determined for daily intake levels (Anonim, 2024d).

Calcium

Calcium is the most abundant mineral in our body, and approximately 1.2 kg of our body consists of calcium. 99% of calcium is found in our bones and teeth, while the remaining 1% is in tissues, blood and other body fluids. Calcium, which is stored especially in bones and teeth, is a nutrient element that provides their hardness.

Calcium is a nutrient that is necessary for blood clotting, joint structuring, cell bonding, heartbeat and normal blood pressure, muscle contraction, nervous system functioning and repair, hardness and durability of our bones and teeth, stimulation of nerves and muscles, and activation of some enzymes that function in digestive metabolism. Absorption, utilization and excretion of calcium from the body vary significantly depending on the food and the person. The daily requirement for adults varies between 200-800 mg on average. This value increases in children, adolescents, pregnant and breastfeeding women (Anonim, 2024e).

The decrease and increase in the amount of calcium in the blood have dangerous consequences for the body. The decrease in the amount of calcium leads to contractions due to the disorder in the functioning of the nerves and muscles, and if it increases, it causes heart and respiratory failure. In calcium deficiency, rickets in children, osteomalacia in adult women and osteoporosis in the elderly are seen as a result of weakening of bones and teeth. Rickets and osteomalacia (osteomalacia) are the inability of bones to develop, softening and warping. Osteoporosis is when the bones become frangible. While calcium absorption is facilitated by vitamin D, lactose in milk, vitamin C, organic acids and some amino acids,

the consumption of bread made from unleavened dough and the long-term use of antacids prevent its absorption. On the other hand, excessive calcium intake can cause some health problems such as kidney stones and calcification, muscle weakness and calcification in the bones. However, there are studies that show that kidney stone formation varies depending on many factors such as genetics, social, climate, and that it is meaningless to associate it only with calcium. Very high amounts of calcium are generally associated with "hyperparathyroidism" and are stated to cause decreased absorption of nutrients such as iron, zinc, phosphorus, and magnesium.

The most important sources of calcium for the body are milk and dairy products. This is followed by vegetables, legumes, cereals and fish in terms of quantity. If the calcium requirement cannot be met in the diet, hard water can fill an important deficiency as a source of calcium (Boysan & Şengörür, 2009). The absorption of calcium in milk and milk products is high. Egg yolk, cereals, legumes and oil seeds are also good sources of calcium. Absorption of calcium in green leafy vegetables and cereals is low. Oxalates (oxalite acid) in green leafy vegetables and phytates (phytic acid) in cereals combine with calcium and prevent absorption from the small intestines. Excessive amount of pulp also negatively affects the absorption of calcium.

Phosphorus

The most abundant element in the human body after calcium is phosphorus. 90% of the phosphorus in the body is found in bones and teeth, while the remaining 10% is found in body fluids and cells. Phosphorus is an important element for maintaining the balance of calcium and magnesium. It is absorbed in the intestines and stored

in the bones and teeth through the bloodstream (Eroğlu Samur, 2012).

The human body needs phosphorus together with calcium in the structure of bones and teeth, cell growth, renewal and repair, energy production, regulation of heart contraction, prevention of blood clotting. In addition, phosphorus prevents the transformation of body fluids into acidic environment, prevents tooth decay by providing acid balance in the mouth, ensures that intracellular and extracellular fluids are kept in balance, is involved in the storage of energy as ATP in our body, carbohydrate, protein and fat metabolism, and in the structure of phospholipids, the main substance of cell membranes (Eroğlu Samur, 2012).

High levels of phosphorus can cause problems in kidney function, cause calcification where it is located and damage organs. Excessive vitamin D, magnesium and calcium deficiencies, liver disorders, renal failure, severe inflammatory diseases, abnormal functioning of the parathyroid glands also cause phosphorus to increase. In case of high phosphorus; the use of drugs containing calcium, carbonate tablets or aluminium hydroxide, avoiding the consumption of high phosphorus foods such as nuts, milk, beans and liver, and the use of diuretic drugs are beneficial.

There is no deficiency of phosphorus due to food intake. However, absorption problems lead to deficiency. Chronic hunger, intestinal malabsorption, alcoholism, and continuous use of diuretics decrease the level in the blood. In phosphorus deficiencies, disruptions in nerve and muscle relations, muscle weakness, muscle cell destruction, brain function deterioration, bone loss and weakness, loss of appetite and pain can be observed.

The phosphorus requirement of the human body is as much as the calcium requirement. Although it is 800 mg daily in adults, it varies depending on age. It can reach up to 1200 mg in children, pregnant and lactating women. Phosphorus should be taken together with calcium.

Phosphorus content of foods rich in protein is also high. Fish, chicken, eggs, milk and its derivatives, cereals, legumes and oil seeds are important phosphorus source foods (Gündoğdu, 2009).

Magnesium

Magnesium is one of the 11 minerals vital for our body. In an adult, 60% of the average 24 g of magnesium is in our bones and teeth. The remaining 40% is in blood, tissue and other body fluids (Koç, 2021).

Although magnesium is present in an amount of 0.05% of body weight, it participates in hundreds of enzyme reactions in our body. Since the body cannot produce magnesium on its own, magnesium must be taken through food. Our body also has a magnesium reserve that needs to be constantly replenished, and magnesium must be constantly supplied to the body in order to fulfil its functions. People who sweat excessively, use laxatives or diuretic drugs excrete more magnesium from the body. In cases such as stress, pregnancy and breastfeeding, the body's need for magnesium increases.

Magnesium plays an important role in the body's energy metabolism, regular functioning of the muscle and nervous system, formation of bones and teeth, regulation of blood pressure, bone strength, regularity of heart rhythm, protein synthesis, heart, kidney, brain and liver metabolisms. In addition, magnesium plays a role in

smoothing the skin, beautifying the hair and strengthening the nails (Solak & Ergene, 2004).

Magnesium requirement varies depending on age and lifestyle. An adult woman should take 300 mg of magnesium per day and an adult man should take 350 mg of magnesium per day. The need is 80 mg in 1-3 group children, 120 mg in 4-6 age group and 170 mg in 7-10 age group. In special cases such as pregnancy and breastfeeding, this amount may increase up to 450-700 mg, otherwise miscarriage or premature birth may occur. The need for magnesium increases during recovery periods. Some lifestyles (such as diet, sports, alcohol, smoking) require more magnesium.

Excessive magnesium intake causes mental confusion, nausea, loss of appetite, difficulty breathing, low blood pressure, heart rhythm disturbances, digestive system and kidney diseases such as diarrhea, and health problems such as sweating and depression. Excess magnesium can also occur due to calcium deficiency. Those with kidney failure should definitely take magnesium under the supervision of a doctor, as magnesium is absorbed from the small intestine and excreted from the kidney. Excess magnesium is a common condition in the elderly. Magnesium excess in the elderly is a common condition. Because kidney function slows down in the elderly, magnesium cannot be excreted sufficiently and begins to accumulate in the body (Solak & Ergene, 2004).

Magnesium deficiency causes heart, kidney, brain and liver dysfunctions, resulting in fatigue, loss of appetite, sleep disorders, heart palpitations and cramps, mental disorders, and disorders in nerve and muscle function. It has been found that magnesium deficiency is responsible for calcium and magnesium disorders in

those with pregnancy-related hypertension, and magnesium sulfate treatment is effective in these patients.

Diseases thought to be related to magnesium deficiency: Alzheimer's, anxiety disorders, angina, arrhythmia, asthma, intestinal disorders (peptic ulcer, Crohn's disease, colitis, food allergy), kidney stones, depression, fibromyalgia, hypertension, hypoglycemia, insomnia, heart disease (atherosclerosis, high cholesterol and triglycerides), congestive heart failure, muscle cramps, muscle weakness and fatigue, constipation, chronic fatigue syndrome, Lou Gehrig's disease, migraine, mitral valve prolapse, myopia (in children born to mothers with Mg deficiency), multiple sclerosis, obesity, osteoarthritis, osteoporosis, autism, autoimmune disorders, Parkinson's disease, primary pulmonary hypertension, Raynaud's disease, rheumatoid arthritis, syndrome X, cerebral palsy (in children born to mothers with Mg deficiency), cerebrovascular accident, type 1-2 diabetes and thyroid disorders (low, high and autoimmune; low Mg reduces T4) (Ergün, 2019).

Since magnesium is the central atom of chlorophyll in plant leaves, plants with high chlorophyll content are the main sources of magnesium. Among animal foods, meat and offal are rich in magnesium. Magnesium is quite low in milk. Dried legumes, oil seeds, unrefined cereal grains and dark green leafy vegetables are important sources of magnesium. Spinach, pumpkin seeds, green beans, soya beans, sesame seeds, black beans, sunflower seeds, cashews, almonds, spelt, brown rice, tuna, rye flour, wheat flour, flaxseed are magnesium sources.

Daily 300 mg magnesium is sufficient for an adult individual. As long as there are no excessive losses, magnesium taken with food and drinking water can be sufficient for the body.

Potassium

Potassium is an essential mineral that helps with kidney function and contraction of heart, skeletal and smooth muscles, and works with sodium to maintain fluid and electrolyte balance in body cells. When sodium-potassium balance is disrupted, nerve and muscle functions are adversely affected. Potassium works inside the cell, while sodium works only outside the cell (Eroğlu Samur, 2012).

Potassium; It plays a role in maintaining acid-base balance and osmotic balance in the body, providing muscle movements and controlling blood pressure. Potassium is also important for maintaining normal heartbeat.

Excessive potassium intake primarily affects the kidneys and heart and causes disorders such as muscle weakness, heart function and rhythm disorders. Excess potassium is caused by excessive potassium intake for various reasons or by conditions such as kidney disease and post-surgery urine deficiency, which cause excess potassium to not be removed sufficiently (Anonim, 2024f).

Potassium deficiency can be seen without any other cause, or as a result of regular use of medications that have a laxative effect or that cause the body to lose too much water among their side effects. Low potassium levels can cause irregular heartbeats or arrhythmias. This is a condition that increases the risk level in those who already have heart disease. Excessive potassium loss due to reasons such as long-term diarrhea or repeated vomiting can cause problems that can lead to heart attack.

Low potassium levels cause negative effects on other muscles as well as the heart muscle. Symptoms that may occur in the muscles are twitching, spasms and cramps. While every muscle can be affected by potassium deficiency, these symptoms can be seen more in the leg and arm muscles. When potassium levels drop too low; the digestive system does not work properly and constant constipation can occur. The lungs are affected and breathing difficulties can be experienced.

Potassium is an important mineral for body functions and must be taken. The daily recommended amount is taken with a normal diet. In the body, red blood cells contain the most potassium. This is followed by muscles and brain tissue. The recommended amount to be taken in a day is 3-3.5 grams. However, people who use diuretic drugs for heart failure may lose potassium in urine. It is recommended that people who use diuretic drugs that cause potassium loss consume foods containing potassium. Bananas, dates, dried fruits, fish, fruit juices, potatoes, tomatoes, hazelnuts, apricots, almonds and green vegetables are foods that are quite rich in potassium. Since consuming excessively salty foods will increase the sodium level in the body, this may lead to potassium loss. For this reason, a diet low in salt should be applied. Along with potassium-sparing, diuretic drugs; some drugs used in heart failure may increase the potassium level in the blood. In this case, the intake of potassium-rich foods should be reduced.

Sodium

It is one of the most abundant minerals in the body. Sodium is an important mineral that plays a role in regulating the body's fluid balance. Sodium is very important for the continuation of nerve and

muscle functions and the maintenance of the pH value in the blood. Its main function is to ensure fluid pumping and the passage of nutrients through the cell membrane. A large amount of sodium contributes to high blood pressure. It is responsible for the contraction of the heart muscle. It allows nutrients to be taken into the cell. It is absorbed by the intestines and mixed with the blood and retained by the kidneys (Anonim, 2024f).

Normally, excess is removed from the body through urination and sweating. However, excess sodium causes high blood pressure, potassium loss, water retention in the body and edema. In case of excess sodium, potassium supplements should be taken to protect against the harmful results that may arise from potassium deficiency. The most important causes of excess sodium are consuming too much salt and salty foods, that is, foods containing a lot of sodium, insufficient water intake or increased sodium levels in the blood due to the body losing more water than sodium through diarrhea, sweating and vomiting (Anonim, 2024f).

In case of sodium deficiency; dizziness, low blood pressure, inability to secrete breast milk, mental weakness, palpitations, loss of appetite, inability to concentrate, muscle cramps, nausea, vomiting, weight loss, headache, intolerance to heat can be observed. Deficiency is rarely seen except in cases of kidney failure and long-term vomiting and diarrhea. Since it is also lost through sweating, sodium intake should be ensured by consuming sufficient salt, especially in hot weather (Anonim, 2024f).

The daily sodium requirement for a normal healthy adult is around 2-3 grams. It is recommended that daily salt consumption not exceed 6 grams. Under normal conditions, sodium needs are easily

met, but in cases where the body loses fluids and minerals, such as diarrhea, some salt should be taken with water to replace the lost sodium. While the amount of sodium needed by the body increases in pregnant women, it decreases in patients with high blood pressure. In addition, babies should not be given salt and salty foods until they are 1 year old (Anonim, 2024f).

A large portion of the sodium entering the body is obtained from table salt. In addition, all salted foods, olives, pickles, cookies, cheese, salami, sausage and baking powder are the most important sources of sodium.

6. Iron

Iron is one of the most deficient nutrients in our society. Although there are 4-5 grams of iron in the human body, it is a very important element. Iron deficiency is very common in women, especially during pregnancy and menstrual periods (pregnant or breastfeeding women need twice as much iron as men). There is also a risk of iron deficiency in children who do not consume iron-rich foods. The body needs sufficient iron to make the blood protein called hemoglobin. It is especially needed in people with anemia, those with heavy menstrual periods and those who do sports.

The most important task of iron in the structure of haemoglobin in the body is to carry oxygen. It carries oxygen from the lungs to the cells and carbon dioxide from the cells to the lungs. In addition, it is the building block for blood, muscle, and many tissues, giving them their color, strengthening the immune system, and taking part in the growth of the body, energy production (ATP), strengthening the immune system, increasing the body's resistance to infections, and in the production of many important enzymes for

life, such as DNA, RNA, and protein synthesis (Eroğlu Samur, 2012).

Excess iron causes chronic fatigue, joint and abdominal pain, liver (cirrhosis, liver cancer) and diabetes, irregular heart rhythm, heart attack or heart failure, skin color changes (bronze, ash gray-green), delay in menstruation, arteriosclerosis, premature aging, cell fattening and calcification, cartilage deterioration. For these reasons, iron medication should be taken under the supervision of a doctor.

In iron deficiency; loss of appetite, weakness, getting tired very easily, shortness of breath, headache, palpitations, dizziness, easy chills, palpitations, hair loss, lip cracks and lack of attention are observed. These symptoms also occur in anemia. Iron deficiency negatively affects the development of intelligence in children of developmental age and causes deficiencies in psychomotor development.

There are various stages of iron deficiency. These stages are basically two. The first of these is mild and the other is severe iron deficiency. Mild iron deficiency is called iron depletion. At this stage, the iron required for the body is present in the body, but iron stores are decreasing. The severe stage of iron deficiency is called iron deficiency anaemia. In this stage of iron deficiency, there is no iron to be used in the body. It has been determined that the red blood cells produced at this stage are smaller in size and paler in colour than normal. As a result of scientific research, it has been determined that the human body produces 115 million blood cells in 1 minute. The most important causes of iron deficiency are not consuming iron-containing foods, frequent births, menstrual bleeding, types of diseases that cause bleeding, insufficient absorption of iron mineral

in the intestine and lack of meat consumption. Apart from these, the microbe called malaria in the intestine and hookworm can also cause iron deficiency (Eroğlu Samur, 2012).

There are 2 different types of iron in foods: “heme” and “non-heme”. “Heme iron” comes from meat, fish and poultry, and is quickly absorbed by the stomach and incorporated into the system. “Non-heme” iron is iron from plant sources, and is absorbed more slowly and less than iron from animal foods. Approximately 30% of the iron from animal foods and 2%-10% of the iron from plant foods is used by the body.

The recommended daily intake of iron (in people without anaemia or iron deficiency) is around 8 mg for men aged 19-50 years and 18 mg for women. In pregnancy, an additional 5 mg is recommended.

Iron is found in both animal foods and vegetables. The fact that the diet is based on animal or plant-based foods causes differences in iron need. The most important foods used to meet the need for iron in our body; meat and derivatives, eggs, fish, liver, molasses, dried fruits, cereals and green leafy vegetables. Liver is the food that will meet the iron requirement at the best level. In addition to these, foods that are sources of iron; foods such as mineral waters, almonds, avocados, beans, red beetroot, beetroot, dates, kidneys, fish, nuts, mussels, oysters are rich in iron. The presence of vitamin C and meat in the diet increases the absorption of plant-derived iron. Foods rich in vitamin C should be included in every meal. Bread should be made by fermenting in order to eliminate the effect of phytates that prevent iron absorption in cereals.

Zinc

In normal human blood, 75-88% of zinc is found in erythrocytes, 12-22% in plasma and 3% in leucocytes. Zinc is the most abundant micro element in the organism after iron. There is an average of 2-3 gr zinc in an adult human. 60% of zinc is found in muscle, 5% in liver, 20-30% in bone and 1.6% in brain. The rate of zinc in skin and hair is 6% and does not participate in metabolism. In case of need, zinc in muscle and bone participates in systemic metabolism (Akinci, 2010).

Zinc is involved in the structure of important proteins. It has a special structural role in enzyme molecules and many proteins and biomembranes. It is an activator and catalyst in enzymatic and hormonal processes. Takes part in some reactions by binding to the active sites of enzymes. Besides being a regulator in intracellular structures, it provides structural support for proteins in molecular interactions. It maintains the stability and integrity of biological membranes and ion channels. As a component of insulin hormone, it affects growth and sexual development hormones. It has important functions in cellular metabolism as a structurally important element in genetic regulatory proteins and nucleic acids. It has a role in the functioning of the prostate gland and reproductive organs. It has very important roles in protein, lipid, carbohydrate, nucleic acid and haemoglobin synthesis, structures and events in the body. Zinc mineral strengthens the immune system and increases body resistance due to its antioxidant properties. It is important for the development and function of innate immune cells, neutrophils and killer cells. It is involved in the substance transformation system, amino acid cycle, body-specific defence system and more than 200 chemical reactions. It helps wounds to heal more quickly. It prevents

premature aging of skin and muscles. It is very important for the growth and development of children. Zinc has an important role in height growth and weight gain. It is also an important mineral during pregnancy. It contributes to the development and repair of our cells. It strengthens the sense of sight. It protects the sense of taste and smell. It prevents premature aging of skin and muscles. It beautifies the skin by supporting cell renewal, strengthens nails and prevents hair loss (Akdeniz & et al., 2016).

Zinc is a divalent cation and is considered a relatively non-toxic metal. It is essential for hundreds of biological reactions and should be included in a healthy diet. It does not accumulate in the body with age. Unlike metals such as copper (Wilson's disease) and iron (Hemochromatosis), there are no known genetic abnormalities that cause excessive zinc accumulation in the body. It has an antioxidant effect. Taking more than the recommended daily doses for therapeutic purposes does not cause any significant pathological effects. Even when test animals were given 100 times more zinc than the recommended daily dose, it did not cause any significant pathological effects.

In zinc deficiency, symptoms such as physical growth retardation (dwarfism), delay in the development of sex organs, lack of resistance to diseases, delay in the healing of wounds, taste and texture perception disorders are observed. Since zinc is involved in many basic physiological functions in the body, its deficiency leads to serious diseases. Many factors such as eating habits, nutritional deficiency, parasitic infections and even environmental pollution cause zinc levels to decrease in the body. Calcium, proteins, phytate, wheat bran, lignin and hemicelluloses also affect zinc absorption in the body. Other causes of zinc deficiency include increased secretion

in the sebaceous glands, abnormal losses from the intestine, liver diseases, chronic kidney disease, sickle cell anaemia, pathological causes such as malabsorption syndromes and long-term intravenous nutrition, alcoholism and excessive sweating in hot environments. In addition, zinc deficiency may also be due to physiological reasons such as pregnancy, premature birth and old age during periods of rapid growth (Gürbüz, 2023).

Zinc deficiency is a major problem affecting men and women of all ages and all socioeconomic and cultural classes worldwide. While zinc deficiency is very mild in some, it requires hospital treatment in others. The most common symptoms of mild zinc deficiency are dry and rough skin, dull hair, brittle nails, white spots on the nails, loss of taste and smell, loss of appetite, mood swings, difficulty adapting to the dark, increased frequency of infections, delayed wound healing, dermatitis and acne.

All organ systems can be affected by a severe zinc deficiency in which the entire body zinc stores are depleted. Symptoms are non-specific and often go unrecognised. In addition to the symptoms seen in mild zinc deficiency, diarrhoea, hair loss, depression, eye diseases such as eye and eyelid inflammation, light phobia, growth retardation, hypogonadism (insufficiency in testicular function), short stature, regression of sexual maturation, decrease in immune functions are also observed. In addition, zinc deficiency causes cognitive deficiencies and disruptions in the formation, development and maintenance of the functions of the living organism and autoimmune diseases. It is stated that cardiovascular diseases increase in deficiency. It is one of the important building blocks of the insulin hormone necessary for metabolism. Studies have shown

that there is a correlation between zinc level and coronary artery disease and diabetes (Gürbüz, 2023).

Food supplementation, food enrichment or biofortification can be done to eliminate zinc deficiency. Biofortification can be done in 2 ways: genetic biofortification and agricultural biofortification. Genetic biofortification is defined as the breeding of new varieties of cereal grains that have the genetic potential to accumulate high concentrations of zinc, while agricultural biofortification is the use of zinc fertilizers to increase the zinc density in crops. The most practical, effective and low-cost application to eliminate zinc deficiency is the enrichment of foods in terms of zinc.

It has been reported that the daily zinc requirement in adults is around 15-20 mg, and this requirement is higher in athletes and pregnant women.

Zinc is an element found in many foods. These can be listed as red meat, poultry, shellfish, nuts, whole grains, fortified breakfast cereals and dairy products. The availability of zinc in the body (availability and usability rate in the body) is quite high in meat, milk and foods obtained from the sea, because these foods contain some amino acids (cysteine and methionine) that increase absorption, rather than substances that reduce the absorption of zinc. Phytates are a substance found in grains and legumes that reduce the absorption of zinc, so the zinc found in all grain products and plant proteins is absorbed less in the body. Since the enzymatic activities of yeasts reduce the phytic acid content in foods, the zinc in fermented grain breads is more effective in the body than the zinc in fermented ones.

Copper

It is one of the minerals that is found mostly in the liver and brain in the body and is essential for our nutrition. Copper; It is necessary for enzymes that are responsible for the renewal of body tissue and the increase in the strength of the bone structure, and is also found in the structure of many enzymes. It forms the structure of hemoglobin together with iron and plays a role in the use of iron in the body. It takes part in protein synthesis and energy production, and contributes to the formation of red blood cells. It is responsible for energy formation, melanin synthesis and the synthesis of chemical substances that provide nerve conduction. It also has an effect in protection from free radicals.

Excessive copper intake causes copper accumulation in the body and “Wilson’s disease”. In this disease, nervous system disorders, liver cirrhosis, green, yellow, brown rings in the eyes are seen. In these cases, the amount of copper in the diet is reduced. In addition to increasing the risk of cancer, excess copper also causes depression, schizophrenia, dementia, hypertension, bad taste, vomiting. In extreme cases, it shows diarrhea, bloody urine, coma and a condition that can lead to death (poisoning in untinned copper pots in the past) (Hopur, 2010).

Copper deficiency does not normally occur, but only with inadequate and poor diet. Adequate copper is obtained from a normal diet. Copper deficiency reduces the mobility of iron, deteriorates the structure of the blood and causes anaemia. Copper deficiency therefore also leads to iron deficiency. Copper is very important in ensuring that iron is easily absorbed by the red blood cells. Even if the body gets enough iron from food, it cannot assimilate it and

therefore cannot form haemoglobin, the main substance in the blood. The lack of iron means that oxygen cannot be transported to the cells, and the result is a lack of energy and fatigue. In addition, osteoporosis occurs with damage to the connective tissue, and loss of colour in the hair and skin is observed.

In cases of long-term infection, especially gum inflammation, it has been observed that the iron level in the cells is high and the copper level is low. The continuity of this situation will weaken the person's immune system, and therefore the infection will reoccur in the body at intervals. Studies have also shown that the imbalance between copper and zinc causes heart disease, increased harmful cholesterol, increased triglyceride, as well as gallbladder problems and postpartum depression. In cases of excess zinc intake and genetic problems, anaemia, slow growth, hair loss and skin problems, wounds and eczema may be seen due to copper deficiency.

The average requirement for copper in the human body is between 1.5 and 3 mg and varies according to age. A daily copper intake of 0.5-1 mg for babies, 1-2 mg for children and an average of 2.5 mg for adults meets the daily requirement.

Copper is abundant in offal, especially liver, seafood, oilseeds, legumes, cocoa, eggs and green vegetables.

Sulfur

Sulfur, which provides the balance of oxygen circulating in the body and takes part in delivering it to everywhere, is also an element that controls and regulates the regular operation of the respiratory system. Sulfur also supports the functioning of brain functions, hair, nail and skin health, acts as a protector against allergic disorders,

helps the liver to function regularly and increases bile secretions, and helps the use of B group vitamins.

The daily sulfur amount of the body is approximately 1000 mg for adults. Although sulfur deficiency is rare, when there is not enough sulfur in the body, hair weakness and skin paleness are seen. Excessive sulfur damages the kidneys. If the human body takes in too much sulfur, there are symptoms such as headache, throat and stomach burns, reflux and vomiting.

Iodine

Most of the iodine in the human body (60%) is found in the thyroid gland and the rest in the blood. Iodine regulates the functions of the thyroid gland and plays an important role in mental functions affected by the thyroid gland, normal growth and development, energy use and weight control, regular functioning of the brain and nervous system.

Iodine deficiency in the body prevents the thyroid gland from fulfilling its functions and causes goitre disease, muscle wasting, deafness, dumbness, mental retardation, stillbirth, miscarriages, low birth weight, infertility and developmental disorders in children (dwarfism). Excessive intake of iodine also disrupts the hormone balance of the thyroid gland and causes the problems that occur in iodine deficiency to occur in this case. Excess iodine can cause poisoning effect.

The daily iodine requirement in an adult individual is approximately 150 micrograms. One and a half teaspoon of iodised salt meets the iodine requirement for a day. This amount increases in pregnant and lactating women.

Replacing the salt we use in meals with iodised salt provides more than the iodine you need to take daily. Apart from this; seafood, milk and dairy products, eggs and meat are important sources of iodine.

Conclusion and Recommendations

Nutrients are the basic building blocks for both plants and humans. These elements affect both the development of plants and human health. It is a known fact that these elements taken into the human body through plants are necessary for the healthy functioning and development of the human body. Although all nutrients are needed in the human body; the most important nutrients include calcium, iron, magnesium, phosphorus, potassium and zinc. Nutrient elements play role in bone, tooth, blood, soft tissue, muscle and nerve cells and hormone production, in short, in every part of the body. The nutrients found in plants are taken as food and used in the human body. The World Health Organisation has stated the amounts of nutrients that an adult healthy person must take daily through nutrition (WHO, 2003). The excess of these elements, like their deficiency, causes a number of disorders and diseases in humans. Therefore, it is important that a healthy diet plan includes all nutrients. Therefore, it is important for a healthy diet plan to include all nutrients. In order to meet the body's daily nutrient needs with the food consumed, it is necessary to know the amount of food consumed and the nutrient content of the foods that make up the daily diet. It should never be forgotten that we should have a healthy and balanced diet in order to get the elements our body needs in sufficient amounts.

References

Akdeniz, V., Kınık, Ö., Yerlikaya, O.& Akan, E. (2016). İnsan Sağlığı ve Beslenme Fizyolojisi Açısından Çinkonun Önemi. Akademik Gıda, 14(3), 307-314.

Akıncı, A.B. (2010). Febril Konvülsiyon Etiyolojisinde Serum Çinko Değerinin Yeri. T.C. Sağlık Bakanlığı Okmeydanı Eğitim Ve Araştırma Hastanesi Çocuk Sağlığı Ve Hastalıkları Kliniği, Uzmanlık Tezi, 49 sayfa.

Anonim (2024a). (2 Aralık 2024 erişim <https://www.bbc.com/turkce/vert-fut-44926689>).

Anonim (2024b) (2 Aralık 2024 erişim <https://www.thoughtco.com/elements-in-the-human-body-p2-602188>).

Anonim (2024c) (20 Aralık 2024 erişim <https://www.ekolojiktarim.com.tr/2023/05/12/besin-elementleri-bitkiler-ve-insanlar-icin-gidadir/>).

Anonim (2024d) (13 Aralık 2024 erişim <https://www.siirt.edu.tr/dosya/personel/7-donem-besin-dersi-yardimci-kaynak-7-vitamin-mineral-su-siirt-202021712014840.pdf>)

Anonim (2024e) (15 Aralık 2024 erişim <https://www.bumesele.com/vitaminler-minareller-ve-gunluk-alinmasi-gereken-miktarlar-nelerdir/>

Anonim (2024f) (5 Aralık 2024 erişim <https://www.webanne.com/potasyum-minerali-ve-faydalari.html> ve <https://www.webanne.com/sodyum-minerali-ve-faydalari.html>)

Barrett, K.E., Barman, S.M., Brooks, H.L.& Yuan, J.X.J.(2019). Ganongs Review Of Medical Physiology Twenty Sixth Edition, Ankara Nobel Yayınevi, McGraw Hill Medical Books.

Boysan, F. & Şengörür, B (2009). Su Sertliğinin İnsan Sağlığı İçin Önemi, SAÜ.Fen Bilimleri Dergisi 13. Cilt, 1.Sayı, s. 7-10.

Çomak, O. (2008). İlköğretim İkinci Kademe Öğrencilerinin Beslenme Davranışları Ve Biyokimyasal Özellikleri İle Akademik Performanslarının İlişkilendirilmesi (Çavdır İlçesi Örneği), Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 76 sayfa.

Ergün, F. (2019). İnsan Sağlığı ve Beslenme Fizyolojisi Açısından Magnezyum. Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı:3, 26-33.

Eroğlu Samur, G. (2012). Vitaminler ve Mineraller ve Sağlığımız. Sağlık Bakanlığı Yayın No: 727, ISBN : 978-975-590-243, Reklam Kurdu Ajansı Org. Tan. Tas. Rek. San. Tic. Ltd. Şt, Yenimahalle / ANKARA, 32 sayfa.

Fageria, N. K. (2009). *The Use of Nutrients in Crop Plants*. Boca Raton Florida New York: CRC Pres.

Gardiner, D. T., Miller, R. W. (2008). *Soils in Our Environment* (11th Edition), New Jersey, USA: Pearson/Prentice Hall Upper Saddle Hill.

Gezgin, S.,& Hamurcu M. (2006). Bitki beslemede besin elementleri arasındaki etkileşimin önemi ve bor ile diğer besin elementleri arasındaki etkileşimler. *Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20 (39), 24-31.

Gündoğdu, s. (2009). Adana İlinde Görev Yapan Okulöncesi Öğretmenlerinin Beslenme Bilgi Düzeyleri ve Alışkanlıklarının Araştırılması. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 134 sayfa.

Gürbüz, B. (2023). İstanbul’da Bir Sivil Toplum Kuruluşuna Beslenme Danışmanlığı İçin Başvuran Suriyeli Göçmen Kadınlarda Ana-Çocuk Sağlığı Ve Beslenmeyle İlgili Özelliklerin Değerlendirilmesi. Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 117 sayfa.

Hopur, M. (2010). Yerli ve İthal Çaylardaki Bakır, Nikel, Kurşun Ve Kadmiyum Metalleri Ve Nitrat Ve Fosfat İyonlarının İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi (ICP-AES) Ve İyon Kromatografisi (IC) İle Tayini. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, 57 sayfa.

Karadağ, G. (2011). İlköğretim Yedinci Sınıf Öğrencilerine Ve Annelerine Verilen Beslenme Eğitiminin Beslenme Bilinci Geliştirmeye Etkisi. Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 139 sayfa.

Koç, Ş. (2021). Kocaeli İli Ve Çevresinde Sağlıklı Bireylerde 25(OH) Vitamin D, Parathormon Ve Magnezyum’un Referans Aralıklarının Saptanması. Kocaeli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Bilim Uzmanlığı Tezi, 92 sayfa.

Solak Görmüş, I.Z. & Ergene, N. (2004), Magnezyumun Klinik Önemi Genel Tıp Dergisi, Cilt 14, Sayı 2.

White, R. E. (2006). *Principles and practice of soil science: the soil as a natural resource* (4th Edition). London, United Kingdom: Wiley-Blackwell Scientific Publication

WHO/FAO. (2003) Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases, WHO Technical Report Series, 916. Geneva, Available at: whqlibdoc.who.int/trs/who_trs_916.pdf Accessed January 25, 2011

CHAPTER II

Kükürt' ün Bitkisel Üretimde Verim ve Kaliteye Etkisi

Figen ERASLAN İNAL

1. Giriş

Kükürdün bitkiler için mutlak gerekli bir besin elementi olduğunun yaklaşık iki yüzyıldan beri bilinmesine ve bitkilerin yaklaşık fosfor kadar kükürde gereksinim göstermelerine rağmen, son yıllara kadar S noksanlığının N, P ve K noksanlığı kadar yaygın olmadığı kanısıyla, bu temel besin elementine gösterilen ilgi diğer besin elementlerinin çok gerisinde kalmıştır.

Kükürt, tüm canlı organizmalar için gereksinilen temel besin elementlerinden biridir. Kükürt, sistein, metionin, biotin, ko-enzim A, tiamin, pirofosfat lipoik asit gibi birçok ko-enzimin, tioredoksinlerin, sülfolipidlerin ve proteinlerin yapısında bulunmaktadır. Kükürdün glutathion tioredoksin gibi peptitlerin sentezinde, redoks reaksiyonlarında, protein yapısının

dayanıklılığında ve disülfid bağının (S-S) oluşumunda yaşamsal rolü vardır (Zhao & ark., 1999a).

Dünyada, son 20 yıldır çevre kirliliğinin azaltılması için alınan önlemler ve tarım tekniklerinde meydana gelen gelişmeler toprağın ve bitkilerin S bütçesinde eksilmelere neden olmuştur. Bu eksilme nedenlerinden bir tanesi S içeren N' lu ve P' lu gübrelerin kullanımından kısmen vazgeçilmesidir. Son 20 yıldır bütün S içeren gübrelerin tüketim miktarı dünya genelinde yıllık 10 milyon ton civarında olurken N tüketimi 1973 yılında 39 milyon tondan 1991 yılında 75 milyon tona çıkarak S' lü gübre tüketimine göre yaklaşık 2 kat artmıştır. Washington Kükürt Enstitüsü dünyada mevcut yıllık 7.5 milyon ton S' lü gübre açığının olduğunu ve değerin 2010 yılında yıllık 11 milyon ton'a çıkacağını tahmin etmektedir (Scherer, 2001).

Dünya genelinde önemli bir N' lu gübre kaynağı olarak kullanılan amonyum sülfat' ın (%21 N, %24 S) tüketimi son 30 yıldır sürekli azalmıştır. Örneğin Batı Avrupa'da toplam azotlu gübre tüketiminde amonyum sülfatın payı 1973' te %7.2 iken bu değer günümüzde %3'e düşmüştür (Ceccotti & Messick 1994).

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de geçmişte başlıca N' lu gübre kaynağı olan amonyum sülfatın pazar payı son 30 yıl süresince sürekli azalmıştır, 1980' li yıllardan günümüze gelindiğinde ise bu gübrenin tüketiminde %37.2 oranında bir azalma meydana gelmiştir (Anonim 2001).

Ham fosfat ve H_2SO_4 'in reaksiyona sokulması ile üretilen ve yaklaşık 1:1 oranında monokalsiyum fosfat ve jips içeren süper fosfat (%8 P ve %12-14 S), uzun yıllar fosforlu gübre olarak yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Fakat son 40 yıldır bu fosforlu gübrenin tüketimi önemli oranda azalmıştır (Scherer 2001). Ülkemizde ise

süper fosfat uzun yıllar P' lu gübre olarak yaygın bir şekilde kullanılmış, fakat son 40 yıldır bu gübrenin tüketimi önemli oranda azalmış ve 1989 yılından sonra tüketimi durmuştur (Anonim 2001).

Potasyumlu bir gübre olan ve %50 K, %18 S içeren K_2SO_4 ' ın kullanımı ise V. Beş Yıllık Plan döneminde ortalama 18 140 ton iken son 4 yıllık dönemde (98-2001) ortalama 15 600 ton'a düşerek %14 oranında azalmıştır (Anonim 2001).

Kükürtlü gübrelerin tüketimindeki bu azalmaya karşılık bünyesinde hiç kükürt bulunmayan kalsiyum amonyum nitrat (%26 N), amonyum nitrat (%33 N) ve üre gibi N'lu gübrelerin tüketiminde önemli artışlar kaydedilmiştir. Amonyum nitrat (%33 N) gübresi 1989 yılından itibaren ülkemizde yıllık 8700 ton ile tüketilmeye başlanmış ve bu gübrenin tüketimi son 4 yılda (98-2001) 531 000 tona çıkarak %387 oranında artmıştır. Üre gübresinde de V. Beş Yıllık Plan döneminde yıllık ortalama 487 200 ton olan tüketim 1998-2001 yılları arsında ortalama 864 000 ton/yıl' a çıkarak %77 oranında artmıştır (Anonim 2001).

Endüstrileşmiş ülkelerde, katı yakıt kullanımının bir sonucu olarak endüstriyel kirlenme, bitkilerin kükürt ihtiyaçlarının karşılanmasına katkıda bulunmuştur. Fakat son yıllarda S noksanlığındaki artışın en önemli sebeplerinden birisi de 1970'li yıllardan itibaren atmosfere SO_2 girdisindeki azalmadır. İngiltere'de toplam SO_2 emisyonu 1970 yılında 3.2 milyon tondan, 1995'te 1.4 milyon tona düşerek yaklaşık %50 oranında azalmıştır (Anonymous, 1995). Diğer bazı Avrupa ülkelerinde de aynı yıllar içerisinde atmosferdeki SO_2 emisyonu benzer düzeyde azalmıştır. Kükürtdioksit (SO_2) emisyonundaki bu azalma eğilimi, uluslararası anlaşmalar gereği gelecek yıllar içerisinde de devam edecektir.

Örneğin, İngiltere' nin 2010 yılında SO₂ emisyonundaki hedefi 0.49 milyon tondur. Benzer eğilim Kuzey Amerika'da da mevcuttur. ABD, 1970-1993 yılları arasında SO₂ emisyonunu %30 oranında azaltmayı başarmış ve 2000 yılında bu oranı %50' ye çıkarmayı hedeflemektedir (Ceccotti, 1996).

Bu konuda Avrupa Birliği, Birleşmiş Milletler Çevre Programı'nın destek ve onayı ile 120' den fazla ülke tarafından kabul edilmiş olan bir çerçeve içerisinde hareket ederek, atmosferdeki SO₂ seviyesini %70 oranında azaltma yükümlülüğünü, Birleşmiş Milletler/Uzun Vadeli Sınır Ötesi Hava Kirliliği Hakkındaki Avrupa Sözleşmesi için Ekonomik Komisyon tarafından belirlenen son tarihten önce yerine getirmiştir (Anonim, 2000).

Ülkemizde ise hava kalitesinde görülen iyileşme ve SO₂ emisyonunun azalmasına en iyi örnek olarak Ankara kenti verilebilir. Hıfzısıhha Araştırma Enstitüsünün ölçümlerine göre 1970/1971 yılında Ankara ili atmosferinde 361 µg/m³ olan SO₂ emisyonu miktarı 2000/2001 yılında 30 µg/m³ değerine düşerek %91.6 oranında ciddi bir azalma eğilimi göstermiştir (Anonim, 2002).

Ülke çapında 1985 yılında kurulan Çevre Sağlığı Daire Başkanlığı bünyesinde hava kirliliğine yönelik çalışmalar sürdürülmektedir. Bu yıldan itibaren yapılan izleme faaliyetleri sonucunda, atmosferdeki SO₂ miktarının zaman içindeki eğilimine yönelik bilgiler elde edilmektedir (Anonim, 1997). Türkiye'nin en büyük 10 ilinde 1990/1995 ile 2000/2005 kışlarının karşılaştırılmasında atmosferdeki SO₂ miktarında önemli ölçüde azalma gözlenmiştir (tablo 1.).

Ülke genelinde atmosferdeki SO₂ konsantrasyonu izlendiğinde ise dünya genelinde olduğu gibi bir azalma eğilimi gözlenmektedir. 1989 yılında Türkiye ortalaması 251 µg/m³ olan SO₂ emisyonu miktarı 2000/01 döneminde 104 µg/m³' e düşerek %59 oranında azalmıştır (Anonim 1991, Anonim 2001).

Kükürt noksanlığının dünyada yaygınlaşmasının bir başka nedeni olarak yüksek verimli çeşitlerin ıslah edilmesi sonucunda, bu çeşitlerin artan kuru madde verimi ve buna bağlı olarak bitkilerin topraktan kaldırdıkları S dahil olmak üzere tüm besin elementlerinin miktarının da artmış olması gösterilmektedir (Scherer, 2001).

Tablo 1. Türkiye'deki en büyük 10 ilin 1990/95 ile 2000/2005 yılları arasında kış aylarında atmosferdeki SO₂ miktarındaki değişim

İller	Kükürt dioksit Ortalaması, µg/m ³		
	1990/95	2000/2005	% Değişim
Ankara	78	56	-28
Antalya	79	55	-30
Bursa	329	107	-67
Diyarbakır	326	128	-61
Erzurum	404	207	-49
İstanbul	379	37	-90
İzmir	219	48	-78
Konya	415	84	-80
Samsun	187	93	-50
Sivas	402	109	-73

Dünyanın tarım yapılan birçok bölgesinde S gübrelemesine ürün gelişimi ve verimin verdiği tepkiler belirtilmiş ve özellikle Batı Kanada, Batı Amerika, Güney Asya, Avustralya ve Yeni Zelanda' da bu durumun yaygın olduğu araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir (Tisdale & ark., 1986, Rasmussen and Kresge 1986, Beaton and Soper 1986, Pasricha and Fox 1993). Geçen 10 yıl içerisinde Batı

Avrupa’da havanın daha temiz hale gelmesi ile birlikte S noksanlığı daha yaygın hale gelmeye başlamıştır (Zhao & ark., 1999a, McGrath & ark., 1996) Almanya’nın kuzeyinde ise N’ tan sonra bitki büyümesini sınırlayan ikinci elementin S olduğu saptanmıştır (Schung 1991). İngiltere’de yapılan araştırmalarda 1990’ lı yıllarda analiz edilen buğday örneklerinin %26’ sının S içeriğinin kritik değer olarak kabul edilen 1.2 mg g⁻¹’ in altında, N/S oranının ise kritik değer olan 17:1’ den daha büyük olduğu, 1980’ li yıllarda ise N/S oranının 12:1 olduğu tespit edilmiştir (Zhao & ark., 1995).

Buğday, dünyada üretimi yapılan en yaygın bitkidir. Kükürde gereksinimi düşük olmasına karşın buğdayda S noksanlığı birçok ülkede gözlenmiş ve tarla koşullarında S uygulamasına bağlı olarak buğdayın veriminde meydana gelen artış oranlarının %5-50 arasında olduğu (Rasmussen and Kresge 1986, Beaton and Soper 1986, Riley & ark., 2000, McGrath & Zhao 1995, Randall & Wrigley 1986), İngiltere’de ise bu artış oranının %5-20 arasında gerçekleştiği (McGrath & ark., 1996) belirtilmiştir.

Kükürt noksanlığının, buğdayda verim üzerine etkisinin yanı sıra buğday ununun kalitesini de önemli oranda etkilediği ve S noksanlığının tanedeki protein ve amino asitlerin konsantrasyonlarını azalttığı aynı zamanda buğday ununun ekmek yapılabilme özelliklerini de düşürdüğü (Moss & ark., 1981, Kettlewell & ark., 1998, Zhao & ark., 1999b, Flaete & ark., 2005) çok sayıda araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur.

2. Toprakta Kükürt

2.1. İnorganik toprak kükürdü

Tarım topraklarında bulunan inorganik S miktarı organik kükürde göre çok daha azdır. Bohn & ark., (1986)’ a göre pek çok

tarım toprağında toplam kükürdün %25' inden daha azı inorganik formdadır. Topraklarda sülfid (S^{-2}), elementel S (S^0), sülfid (SO_3^{-2}), tiyosülfat ($S_2O_3^{-2}$), tetratyonat ($S_4O_6^{-2}$) ve sülfat (SO_4^{-2}) başlıca inorganik kükürt formlarıdır. İyi drenajlı topraklarda, sülfidler toplam kükürdün %1' inden azını oluştururlar. Sulak alanlarda ise pirit (FeS_2) gibi önemli oranda metal sülfidler birikir. Ölçülebilir düzeydeki tiyosülfat ve tetratyonat iyonları varlığı ise yalnızca S' lü gübreler veya kirleticilere maruz kalmış topraklarda saptanmaktadır. Buna karşılık topraklardaki sülfat iyonları önemli farklılık gösterebilmekte ve toplam kükürdün %5' inden azını oluşturmaktadır (Hu & ark., 2005). Toprak çözeltisinde bulunan sülfatlar, adsorbe edilmiş SO_4^{-2} , mineral kükürt ve kalsiyum karbonat ile birlikte çökmüş veya kristalize olmuş SO_4^{-2} olarak tanımlanabilir. Bu son form kireçli topraklarda toplam kükürdün önemli bir fraksiyonunu oluşturur (Tisdale & ark., 1993).

Elkins & Ensminger (1971), adsorbe edilmiş SO_4^{-2} bitkiler tarafından kolay alınabilir durumda değilse, bağlanmayı azaltan herhangi bir uygulama sonucu toprak çözeltisinde SO_4^{-2} miktarındaki artmanın bitkiler tarafından alımı kolaylaştıracağını bildirmiştir. Mehlich (1964), adsorbe edilen SO_4^{-2} ' in çözeltiye geçişinin ilave edilen $Ca(OH)_2$ miktarıyla ilişkili olduğunu, bunun da $Ca(OH)_2$ ilavesi nedeniyle artan pH' dan kaynaklandığını belirtmiştir. Bu yüzden düzenli kireçlenen tarım topraklarının yüzey topraklarında düşük oranda SO_4^{-2} adsorpsiyonu beklenir ve kireç ile jipsin birlikte ilavesi SO_4^{-2} yarayışlılığını artırır (Serrano & ark., 1999).

Kacar (1968) tarafından, Türkiye'nin değişik yerlerinden alınan 98 toprak örneğinde türbidimetrik yöntemle yapılan analizler sonucunda SO_4^{-2} -S miktarının toprakların %30' unda 10 mg S kg^{-1}

dan az ve %70' inde ise 10-20 mg S kg⁻¹ arasında olduğu belirlenmiştir. Kacar ve Amin (1985), Trakya B6lgesi Meriç Havzası topraklarının bitkiye yararılı k6k6rt durumlarını belirlemek amacıyla yaptıkları bir çalışmada b6lge topraklarında elverişli S miktarının 6.9-35.9 mg kg⁻¹ arasında değiştiğini ve ortalama miktarın 12.7 mg kg⁻¹ olduğunu belirlemişlerdir. 6lgen vd. (1989) tarafından, T6rkiye topraklarının ekstrakte edilebilir S içeriklerini belirlemek amacıyla yapılan çalışmada, kritik d6zey olarak 10 mg S kg⁻¹ kabul edilmiş ve buna g6re T6rkiye topraklarının %11.5' inin S bakımından kritik d6zeyin altında olduğu belirtilmiştir. Inal & ark., (2003) tarafından, Ankara civarından alınan 46 toprak 6rneğinde toplam k6k6rt miktarının 42-556 mg kg⁻¹ arasında değiştiği, ortalama miktarın 144 mg kg⁻¹ olduğu; ekstrakte edilebilir k6k6rt miktarının ise 6.72-121.75 mg kg⁻¹ arasında değiştiği ortalama miktarın ise 15.52 mg kg⁻¹ olduğu tespit edilmiş ve ekstrakte edilebilir k6k6rt için kritik d6zey olarak 12 mg kg⁻¹ kabul edildiğinde bu toprakların %50' sinde S noksanlığının olduğu belirtilmiştir.

2.2 Organik toprak k6k6rd6

Bloem (1988)' e g6re toplam toprak k6k6rd6n6n %98' ine varan oranlarda b6y6ke bir kısmı organik k6k6rt bileşikleridir ve bitki artıkları, hayvan ve toprak mikroorganizmalarından oluşan heterojen bir karışımla ilişkilidir.

Kimyasal olarak çok değişken olduğu bilinen fakat bug6n bile az sınıflandırılabilmiş olan toprak organik k6k6rd6 iki ana gruba ayrılır. Bunlar karbon (C)' a bağlı ve bağlı olmayan yani organik (ester) s6lfatlardır. Organik s6lfatlar, s6lfat esterleri (C-O-S), s6lfamatlar (C-N-S) ve s6lfatlaşmış tiyoglikozidler (N-O-S)' dir.

Organik sülfatlar topraktaki toplam kükürdün %30-75' ini oluştururlar. Karbona bağlı kükürt grupları ise aminoasitler, proteinler, polipeptitler, biyotin ve tiamin gibi heterosiklik bileşikler, sülfınatlar, sülfonlar ve sülfoksitler şeklinde bulunurlar. Karbona bağlı kükürt hümk asitlerin aromatik yapılarında da bulunur. Toprakta bulunan C-S bağlarının büyük bir bölümü henüz tam tanımlanamamıştır (Freney 1986).

Stevenson (1986)' ın bulgularına göre, toprak organik kükürdünün %1-3' ü mikrobiyolojik kütleden gelebilir. Son çalışmalar, mikrobiyolojik kütle kükürdünün genellikle toplam toprak organik kükürdünün %1.5-5' ini oluşturduğunu belirtmektedir (Banerjee & ark., 1993, Wu & ark., 1993). Mikrobiyal hücrelerde proteinler ve amino asitler kükürdün temel formlarıdır (Banerjee & Chapman 1996). Birçok toprak mikroorganizmasının S konsantrasyonu kuru ağırlıkta 1-10 µg/g arasında, C:S oranı 57:1-85:1 arasında değişir ve N:S oranı yaklaşık 10:1' dir. Fakat C:S oranının sabit olmadığı, S uygulamasına bağlı olarak oldukça hızlı değiştiği yönünde işaretler de vardır. Kükürt sınırlandırıcı bir faktör olduğunda, hem substrattaki düşük S konsantrasyonu hem de bitki alımı sonucu oluşan rekabet nedeniyle kütlenin C:S oranı 80-100 arası değerlere ulaşabilmektedir (Banerjee & ark., 1993).

Toprakta kükürt döngüsünde mikrobiyolojik kütle oldukça etkindir ve en aktif havuz olduğu düşünülür (Stevenson 1986). Genellikle, organik madde uygulaması mikrobiyal kükürt içeren mikrobiyolojik kütleyi artırır. Mikrobiyal kükürt sıcaklıkla birlikte artarken toprak neminin az olduğu koşullarda azalır (Gupta & Germida 1989, Ghani & ark., 1990). Wu & ark., (1993) tarafından yapılan bir inkübasyon çalışmasında toprağa karıştırılan arpa

sapındaki kükürdün %20' si ve kolza yapraklarındaki kükürdün %30' unun 25 °C sıcaklıkta 5 gün içinde mikrobiyal kükürde dönüştüğü belirlenmiştir.

2.3 Kükürt mineralizasyonu ve immobilizasyonu

Toprak kükürdü organik ve inorganik kükürt formlarına sürekli dönüşüm içerisinde. Organik kükürt bileşikleri bitkiler tarafından alınamadıklarından bunların bitki alımından önce biyokimyasal veya mikrobiyolojik mineralizasyonla inorganik SO_4^{2-} a dönüşmesi zorunludur (Castellano and Dick 1991). Enzimler kadar mikroorganizmalarında görev yaptığı bu dönüşüm çevre şartlarından etkilenen proseslerdir. Biyokimyasal mineralizasyon farklı sülfatazlar tarafından sülfat esterlerinin hidrolizasyonu iken karbona bağlı kükürtlerin mikrobiyolojik mineralizasyonu enerji ihtiyaçlarını karşılamak üzere karbon gereksinen toprak mikroorganizmalarının aktivitesine bağlıdır ve sonuçta C' un CO_2 ' e yükseltgenmesinin bir yan ürünü olarak S açığa çıkar (Eriksen & ark., 1998).

Etiketli SO_4 -S ile kısa dönemli bir çalışma yapan McLaren & ark., (1985)' in araştırma sonuçları, karbona bağlı kükürde göre sülfat esterlerin daha fazla mineralize olabildiği ve topraktaki SO_4 ' ın geçici deposu olarak görev yaptığı yolundaki bilgileri destekler niteliktedir. Etiketli SO_4 ' ın toprağa uygulandıktan kısa bir süre sonra %60-90' ı ester sülfat fraksiyonuna bağlanmakta ve bitkiler tarafından sonradan alınan kükürdün büyükçe bir kısmı bu havuzdan sağlanmaktadır. McLaren & ark., (1985)' in kısa dönem döngü çalışmasının sonuçları, bitkiler tarafından hemen alınabilir kükürt kaynağının sülfat esterler olduğunu göstermiştir. Klose & ark., (1999) ise örneklemeden iki yıl sonra bile sülfat ester miktarında çok

az bir değişim olduğunu bulmuştur. Bu sonuç ise topraktaki ester sülfat gruplarının hepsinin aynı dayanıklılıkta olmadığını göstermektedir. Toprak sülfat esterlerinin büyük bir kısmı özellikle mikrobiyal enzimler aracılığıyla mineralize olur ve açığa çıkan sülfat bitki kökleri tarafından alınabilir.

İndirgenmiş organik kükürt bileşikleri temel olarak proteinler ile kükürt içeren amino asitlerde bulunur. Proteinlerden, kükürt içeren amino asitlerin açığa çıkabilmesi için birinci aşama hidrolizdir. İkinci aşama ise havalı koşullarda kendiliğinden oksidasyonla SO_4 a dönüşen H_2S oluşumudur (Mengel & Kirkby 1987).

Jaggi & ark., (1999), toprak organik kükürt bileşiklerinin mineralizasyonuna üç farklı sıcaklığın etkisini araştırdığı çalışmada, sıcaklığın önemli oranda etkisinin olduğunu ve mineralizasyon oranının $36\text{ }^{\circ}C$ de en yüksek değere ulaştığını belirtmiştir. MacDonald & ark., (1995) ise, $5-25\text{ }^{\circ}C$ arasında beş farklı sıcaklıkta 32 hafta süreyle laboratuvar koşullarında yürüttüğü inkübasyon çalışmada, S mineralizasyon oranının sıcaklıkla birlikte artış gösterdiğini belirtmiştir.

Ardışık iki yetiştirme sezonu boyunca Danimarka topraklarında kükürt mineralizasyonunu ölçen Eriksen & ark., (1995), net mineralizasyonun $3.3-6.7\text{ mg kg}^{-1}\text{ yıl}^{-1}$ arasında değiştiğini ve bunun toplam toprak organik kükürdünün $\%1.7-3.1$ i oranında olduğunu belirtmiştir.

Kükürtçe fakir (örneğin saman) organik maddenin toprağa karıştırılması kükürt immobilizasyonuna neden olmaktadır. Eriksen (1997)' e göre kolay alınabilir karbon kaynağının bulunması toprak inorganik SO_4-S ü miktarında hızla düşüşe yol açmakta ve bitkilerin

kükürt alımını da azaltmaktadır. Stewart & ark., (1966), kükürt immobilizasyonunu azaltmak ve en yüksek parçalanma oranını garantilemek için yaklaşık 1.5 g S kg⁻¹ kükürt içeren buğday samanının yeterli olacağını belirtmiştir.

3. Bitkide Kükürt

3.1 Kükürt alımını ve taşınımı

Bitkiler gereksinim duydukları kükürdün büyük bir bölümünü kökleri aracılığıyla toprak çözeltisinden sülfat (SO₄⁻²) anyonu şeklinde alırlar. Sülfat alımında en önemli yörenin kök tüyü yöresi olduğu belirtilmiştir (Cacco & ark., 1980). Bowen & Rovira (1971)' ya göre kök ucundan itibaren ilk 5 cm' de buğday köklerinin SO₄⁻² alımı en fazladır. Son yapılan çalışmalar SO₄⁻² ın H⁺/SO₄⁻² iyon çifti şeklinde taşınarak alındığı görüşünü desteklemektedir (Clarkson & ark., 1993, Leusteck & Saito 1999). Köklerden SO₄⁻² anyonunun girişinin pH 4.0' te en hızlı olduğu ve pH arttıkça azaldığı belirtilmiştir. (Leggett & Epstein 1956). Hendrix (1967), fasulye bitkisinde en yüksek SO₄⁻² absorpsiyon oranının pH 6.5' te olduğunu belirtmiştir. Bitkilerin SO₄⁻² alımı üzerine fosfat (H₂PO₄⁻), nitrat (NO₃⁻) ve klor (Cl⁻) konsantrasyonlarının önemli etki yapmadıkları saptanmıştır. Ancak kimyasal yönden yakın benzerlik içerisinde bulunan selenit (SeO₄⁻), molibdat (MoO₄⁻²), kromat (CrO₄⁻) anyonları SO₄⁻² alımını olumsuz şekilde etkilemektedir. Bu durum aynı taşıyıcılar tarafından taşınmaları ile açıklanmaktadır.

Bitkiler yapraklardaki stomaların günlük açılıp kapanma süreleri içerisinde atmosferden de SO₂ alırlar. Stomalar aracılığıyla alınan SO₂ daha sonra bitki içinde dağılarak farklı kükürt fraksiyonlarına dönüşür. Faller (1972)' e göre SO₂' in düşük konsantrasyonları (1.5 mg m⁻³) kükürt noksanlığının

hafifletilmesinde yararlı etkiye sahiptir. Tek yıllık bitkiler için kritik SO_2 konsantrasyonunun $120 \mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$ olduğu belirtilmiştir (Saalbach 1984).

Organik kükürt bileşikleri köklerde sentezlenebilir olmakla birlikte, kükürdün büyükçe bir kısmı SO_4^{-2} formunda gövdeye taşınır. Kükürdün köklerden, indirgenme ve asimilasyonun gerçekleştiği gövde dokusunun kloroplastlarına taşınması ksilemde uzun mesafe taşınımı ve bir çok membrandan geçişi içerir (Clarkson & ark., 1993). Smith (1976)' in kinetik çalışmaları, SO_4^{-2} ' ın kendisinin SO_4^{-2} taşınımının engelleyicisi olduğunu göstermektedir. Sülfatın ksileme aktarılması suyun yatay hareketi ile etkileşir ve yapraklara SO_4^{-2} ' ın taşınmasında transprasyon akış yönü etkilidir (Rennenberg & ark., 1979). Hell & Rennenberg (1998), uzun mesafe taşınım kadar kükürt kaynağının engellenmesinin de hasat edilen bitki aksamalarında indirgenmiş kükürt bileşiklerinin bulunması yönünden tarımsal öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Zhao & ark., (1999a)' a göre indirgenmiş formdaki kükürt sistein olarak taşınır ve daha sonra glutation bağlanır.

Hell & Rennenberg (1998)' e göre, SO_4^{-2} floem öz suyunun genel bir bileşeni olmakla birlikte SO_4^{-2} ' ın floemde hareketinin şekerlerin kitle hareketine bağlı olup olmadığı sorusu güncelliğini korumaktadır. Günümüzde SO_4^{-2} taşınım hızı konusundaki bulgular yetersizdir. İndirgenmiş kükürt bileşiklerinin büyükçe bir kısmının gövdeden köke taşınımı temel olarak glutation formunda olmaktadır.

Farahbakhsh & ark., (1999) tarafından, buğdayın farklı iki gelişme döneminde ^{35}S - SO_4 alımını araştırmak üzere yürütülen sera denemesi sonucunda; etiketli kükürt GS 24 (Zadoks & ark., 1974) gelişme döneminde uygulandığında alınabilir kükürdün yalnızca

%14' ünün bitki aksamalarında bulunduğu, yeni çıkan yapraklar tarafından alımın sürekli olarak artış gösterdiği, radyoaktif etiketli S çözeltisi uygulaması bittikten sonra oluşan yaprakların S' ü bitkinin diğer aksamalarından taşıyarak aldığı, son hasatta başakların önemli ve yeni bir depo haline dönüştüğü ve etiketli S' ün %68' ini aldıklarını tespit etmişlerdir. Etiketli kükürt GS 41-45 (Zadoks & ark., 1974) gelişme döneminde uygulandığında ise; alınabilir S' ün ortalama %93' ünün uygulamayı takip eden 3 gün içinde alındığı, bunun da büyükçe bir kısmının taşındığı ve toprak üstü aksamlar tarafından alındığı, son hasatta %53' ünün ise tanelerde bulunduğunu tespit etmişler ve araştırma sonuçlarının S rezervlerinin yeni oluşan depo organlara yeniden taşınabileceği ve sülfat iyonlarının yeni oluşan depolar tarafından ihtiyaç duyulana kadar bitki tarafından depo havuzu olarak biriktirilebileceğini gösterdiğini belirtmişlerdir.

Fitzgerald & ark., (1999a)' a göre, generatif büyüme süresince irileşen buğday taneleri depo proteinlerini sentezlemek üzere N ve S' e ihtiyaç duyarlar. Tane büyümesi için ihtiyaç duyulan S' ün vejetatif dokulardan alındığı hipotezini test etmek üzere 50 μ M kükürt (düşük-S) veya 200 μ M kükürt (yüksek-S) içeren besin çözeltisinde ve generatif gelişme süresince değişik zamanlarda besin maddesi uygulamasını durdurarak buğday yetiştirmişlerdir. Besin maddesi uygulaması durdurulduktan sonra, yüksek-S ile beslenen bitkilerin kök ve yapraklarındaki depolardan çözünebilir S' ü büyüyen tanelere yeniden taşıdığını, düşük-S ile beslenen bitkilerin ise yapraklarındaki çözünemez S' ü (protein-S) tanelere yeniden taşıdığını belirtmişlerdir.

Fitzgerald & ark., (1999b) tarafından, yağışa bağlı olarak yetiştirilen buğdayın irileşen tanelerinin S' ü bitkinin vejetatif

büyüme süresince biriktirdiği S' ten almak zorunda olduğu, generatif büyüme süresince köklerden sülfatın yeniden dağılımının S ihtiyacına bağlı olarak değiştiği, glutationun yeniden dağılımının ise kloroplastların parçalanması sonucuna bağlı olduğu, düşük S ile beslenen bitkilerde N gereksinimine bağlı olarak yaprak proteinlerinin hidrolizinin tane büyümesi için en önemli S kaynağını oluşturduğu belirtilmiştir.

Anderson & Fitzgerald (2001), buğday bitkisini vejetatif gelişme süresince yeterli kükürt ile yetiştirip, generatif gelişme süresince kükürtte dahil olmak üzere besin maddesi uygulamasını durdurarak yürüttükleri çalışmalarında; çiçeklenmeden sonra besin almayan bitkilerin tane verimi ile bitkilerin S içeriklerinin generatif gelişme süresince S alan bitkilerle aynı olduğunu belirtmişlerdir. Çiçeklenme döneminde S uygulaması durdurulduğunda, tane büyümesi için gereksinilen S' ün temel olarak köklerdeki sülfat ve bayrak yapraklarındaki glutationdan alındığını, çözünemez S' ün ise önemli bir kaynak olmadığını belirtmişlerdir. Çiçeklenmede S uygulaması durdurulmadan önce yetersiz S alan bitkilerin düşük S içerikli depo proteinleri oluşturduğunun göstergesi olan düşük verim ve düşük S içeren tane oluşturduğunu belirtmişlerdir. Tane proteinlerinin sentezi için gerekli olan kükürdün de çözünebilir kaynaklardan çok temel olarak bayrak yapraklarındaki protein-S' ünden alındığını bildirmişlerdir.

3.2 Kükürt asimilasyonu ve indirgenmesi

Yüksek bitkilerde S indirgenmesi ve asimilasyonun da rol alan enzimler, indirgenmenin ışık yoğunluğuna sıkı bir şekilde bağlı olması nedeniyle temelde yeşil yaprakların kloroplastlarında bulunurlar (Frankhauser & Brunold, 1978, Schmutz & Brunold,

1984). Diğer bitki organlarının da kükürt indirgenmesinde rol alıp almadıkları konusundaki bulgular yetersizdir. Kükürdün kök plastidlerinde indirgenerek asimile edilmesi ihmal edilebilir düzeydedir (Scherer, 2001).

Kükürt gereksinimlerini karşılamak üzere bitkiler kökleriyle aldıkları SO_4^{2-} iyonlarını ve atmosferden absorbe ettikleri SO_2 'i asimile edebilmek için sülfide (S^{2-}) indirgerler. Kükürdün asimilasyonu pek çok yönden nitratin (NO_3^-) asimilasyonuna benzer. Nitrat indirgenmesi ile karşılaştırıldığında, sülfat indirgenmesi biraz daha negatif geri beslenme kontrolü altındaymış gibi görünmektedir. Potansiyel toksik sisteinin aşırı birikimi o-asetilserin biyosentezinin allosterik negatif geri beslenmesi ile önlenir. Nitrat şeklindeki azottan farklı olarak bitkiler indirgeme yapmadan da sülfattan yararlanabilirler. Bunun bir sonucu olarak sülfat, hücre membranlarındaki sülfolipidler ve benzeri temel organik bileşiklere ya da agar gibi polisakkaritlere bağlanır. Ayrıca azotun aksine indirgenmiş kükürt bitkilerde yeniden yükseltgenebilir. Sistein amino asidine bağlanmış olan indirgenmiş kükürt bu yükseltgenme tepkimesi sonunda sülfata dönüşebilir. Bu olgu bitkilerde kükürt birikiminin en güvenilir yolu olarak kabul edilmektedir (Zhao & ark., 1999a).

Bitkilerde sülfat (SO_4^{2-}) asimilasyonunda ilk aşama sülfat iyonunun ATP (Adenozin trifosfat) ile aktive edilmesidir. Bu reaksiyonda sülfürid grubu tarafından ATP sülfüridaz enziminin etkinliği ile ATP' den iki fosfat grubunun uzaklaştırılmasıyla APS (Adenozin fosfosülfat) oluşur. Sülfatın aktive edilmesiyle meydana gelen adenozin fosfosülfat (APS), sülfat esterlerinin oluşumunda ya da sülfatın indirgenmesinde ana madde olarak görev yapar. Sülfat, APS redüktaz ve sülfid redüktaz enzimleri aracılığıyla tiyol (-SH)

gruplarına aktarım sırasında sülfite (SO_3^-) indirgenir. Tiyo grupuna bağlanan sülfid (SO_3^-) daha sonra sülfid redüktaz ya da organik tiosülfat redüktaz enzimlerinin etkinliği ile sülfide (S^{2-}) indirgenir. Kloroplastlarda elektron vericisi olan ferrodoksin ise anılan bu iki enziminin etkinliği ile indirgenmektedir (Brunold, 1993).

Tepkimeler sonucu oluşan $-\text{SH}$ grubu asetilserine aktarılır. Daha sonra asetilserin, sistein amino asiti ile asetatı oluşturur. Kükürt indirgenmesi ve asimilasyonunun ilk stabil ürünü olan sistein diğer indirgenmiş S içeren bileşiklerin sentezinde başlangıç madde olarak görev görür. Sistein amino asidi proteinlerin, koenzimlerin, ikincil ürünlerin, etilen ve benzeri bileşiklerin oluşumuna öncülük eden ana maddedir. Bir CH_3 grubunun aktarımı ile sistein, kükürt içeren önemli bir başka amino asit olan metionini oluşturur (Marschner 1995).

3.3 Kükürt noksanlığı

Bitkilerde S noksanlığı belirtileri çok spesifik değildir ve N veya diğer besin noksanlıklarıyla karıştırılabilir. Bu nedenle S noksanlığının teşhisinde daha güvenilir yaklaşımlara ihtiyaç vardır. Bu amaçla, McGrath & Zhao (1995), basit bir bilgisayar modeli kullanarak İngiltere’de S noksanlığı olan alanları tahmin etmeye çalışmışlardır. Bu modelde bir bitkinin optimum S ihtiyacının yanı sıra atmosferden S girdisi ve değişik toprak ve iklim özellikleri gibi bilgilere ihtiyaç duyulur. Geliştirilen bu model ile 1990’ ların ortasında İngiltere’ de toplam alanların yaklaşık %11’ inde tahıllar için yüksek düzeyde S noksanlığı içeren alanların olduğu ve %22’ sinin de orta düzeyde noksanlık riski taşıdığı belirlenmiştir.

Toprak analizleri besin maddesi noksanlığının tanımlanmasında yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardan birisidir.

Birçok sera denemesi, toprak analiz sonuçları ile ilave edilen S' e bitkinin tepkisi veya S alımı arasında iyi bir ilişkinin olduğunu göstermiştir (Anderson & ark., 1992, Zhao & McGrath 1994). Zhao & ark., (1999a)' a göre, toprak analizleri sadece S' e tepki vermeyen ve yüksek oranda yarayışlı S içeren toprakların S durumunun tahmininde güvenilirdir.

Kükürt noksanlığının teşhisinde bitki analizlerinin daha güvenilir bir yöntem olduğu düşünülmektedir. Toplam S, N/S oranı, sülfat-S ve sülfat-S/toplam S oranı gibi değişik teşhis kriterleri önerilmekle birlikte bugüne kadar hangi göstergenin en iyi olduğu konusunda bir fikir birliği sağlanamamıştır. Bitki dokularında toplam S, sülfat (SO_4) ve toplam N konsantrasyonları bitkinin gelişme dönemi boyunca belirgin değişimler gösterdiği için, farklı gelişim dönemlerinde sabit bir kritik değer elde etmek çok zor ve hatta imkansızdır. Önceki çalışmalarda buğdayda N/S ve sülfat-S/toplam S oranlarının bitki gelişme dönemi boyunca sabit olduğu düşüncesiyle bu oranların bitkide toplam S veya SO_4 konsantrasyonlarından daha iyi bir kriter olduğu belirtilmiştir (Rasmussen & ark., 1977, Spencer & Freney 1980). Günümüzde yapılan çalışmalar ise farklı gelişme dönemlerinde bu oranların önemli dalgalanmalar sergilediğini göstermiştir (Robson & ark., 1995). Farklı gelişme dönemlerinde herhangi bir kriterin sabit bir değer taşımasını beklemek uygun değildir. Kritik değerlerdeki farklılıkları ortadan kaldırmak için örneklemenin belirli bir gelişme döneminde yapılması gerekmektedir. Spencer & Freney (1980), tarlada yetişen buğdayın (GS 31; Zadoks & ark., 1974) gövdesinin tamamında toplam S için 1.5 mg g^{-1} , sülfat-S' ü için 0.19 mg g^{-1} ve N/S oranı için ise 19/1 değerlerini kritik değer olarak belirlemişlerdir. Daha yüksek kritik değerler bitki analizi için sadece

bayrak yapraklarının alınması durumunda kullanılmaktadır. Pasricha & Fox (1993), başaklanmasını tamamlamış (GS 45; Zadoks & ark., 1974) bir bitkiden yalnızca bayrak yaprağı alındığında S konsantrasyonu için kritik değerin 1.9 mg g^{-1} olduğunu bildirmiştir. Bitkide doku analizleri yaparak güvenilir şekilde S noksanlığının belirlenmesinin, vejetatif gelişme döneminin sonuna doğru yapılmasıyla olanaklı olduğu belirlenmiştir. Randall & ark., (1981), buğdayda S noksanlığının teşhisinde tanenin S konsantrasyonu için 1.2 mg g^{-1} , N/S oranı içinse 17/1 kritik değerlerini kullanmışlardır.

Kükürdün bilinen fonksiyonlarına bağlı olarak, N noksanlığında olduğu gibi S noksanlığı da rengin açılmasına, sarımsı yeşilden tamamen sararmaya varan bir belirti gösterir, bu yüzden N noksanlığından ayırmak zordur, bazen de mümkün değildir. Özellikle yoğun gelişme döneminde S noksanlığı olan bitki, noksanlığın genç yaprakta görülmesiyle N noksanlığından ayrılabilir. Kükürt noksanlığı durumunda artan kloroz şiddeti kloroplastlarda protein metabolizmasının bozulmasından ve klorofil sentezinin azalmasından kaynaklanır. Kükürt noksanlığı olan bitkiler normal bitkilere göre daha kısadır, noksanlık erken dönemde olursa bitkiler bodurlaşır ve N noksanlığında olduğu gibi sert görünümlü bir yapı kazanır, yapraklar normale göre küçük ve dardır, köke göre gövde büyümesi daha şiddetli etkilenir (Bergmann 1992).

3.4 Bitkilerin kükürt gereksinimi

Bir bitkinin S gereksinimi maksimum verim elde edebilmek için gerekli olan minimum S miktarı olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda ürünün kaliteli olması da amaçlanıyorsa S gereksinimi daha yüksek olabilir. Bitkilerin toplam S ihtiyacı bitki türüne ve gelişme dönemine göre farklılık gösterir. Genel olarak turpgillerin

(Cruciferae) ve zambakgillerin (Liliaceae) S ihtiyacı en fazla, buğdaygillerin (Gramineae) düşük buna karşılık baklagillerin (Leguminosae) S ihtiyacı ise bu ikisinin arasındadır. Walker & Booth (1992)' a göre yağlık kolza bitkileri 20-30 kg S ha⁻¹, tahıllar ise 10-15 kg S ha⁻¹ arasında S kaldırmaktadırlar.

Westfall & ark., (1990) tarafından, buğdayda gelişim dönemlerine bağlı olarak bitkide S konsantrasyonunun değiştiği, örneğin buğdayda kardeşlenme döneminde bitkilerin yeşil aksamındaki kritik S konsantrasyonunun 2.2 mg g⁻¹, sapa kalkma döneminde 1.9 mg g⁻¹ ve süt olum döneminde ise 1.5 mg g⁻¹ olduğu belirtilmiştir. İngiltere' deki çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, buğdayın çiçeklenme dönemindeki bayrak yaprağında toplam S konsantrasyonu 2 mg g⁻¹' dan düşük ve N/S oranı 17' den büyükse buğday için kritik noksanlığın söz konusu olduğu belirtilmiştir (Withers & Sinclair 1994, Withers & ark., 1995).

Azot ve kükürt arasındaki kuvvetli ilişkiden dolayı S gübrelemesine ürün tepkisi genellikle N gübrelemesinin miktarına bağlıdır. Yüksek miktarlarda N gübrelemesi S noksanlığının ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir. Buğdayın tane olgunluk dönemine doğru gidildikçe kaldırdığı S miktarının arttığı ve toprağın yeterli S içermesi durumunda kışlık buğday tarafından kaldırılan S miktarının 15-25 kg ha⁻¹ arasında değiştiği bulunmuştur. Fakat bitkinin kaldırdığı S miktarı İngiltere' de 15 kg ha⁻¹' ın altına düştüğü durumlarda sıklıkla S noksanlığı ile karşılaşıldığı bildirilmiştir (Zhao & ark., 1999a). Genel bir kural olarak yeterli S' ün olduğu koşullarda kışlık buğdaydan 1 ton tane verimi elde edebilmek için gereksinilen S miktarı 2-3 kg ha⁻¹' dir. Ekmeklik buğday çeşitleri ekmeklik olmayan çeşitlere kıyasla tanesinde yaklaşık %10 oranında daha fazla S konsantrasyonuna sahiptir. Aynı zamanda ekmeklik

çeşitler ekmeklik olmayan çeşitlere göre daha fazla protein içerirler (Zhao & ark., 1995).

Hitsuda & ark., (2005) tarafından, 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 16.0 ve 32.0 mg L⁻¹ dozlarında S içeren besin çözeltisinde yetiştirilen soya fasulyesi, çeltik, mısır, fasulye, buğday, pamuk, sorgum ve ayçiçeği bitkilerinin erken gelişme döneminde S noksanlığı için kritik konsantrasyonların belirlenmesi amacıyla yapılan araştırma sonucunda; besin çözeltisindeki kritik S konsantrasyonunun ayçiçeği için en az 2.0 mg L⁻¹, pamuk, sorgum, buğday ve soya fasulyesi için 1.0 mg L⁻¹, fasulye, çeltik ve mısır için ise 0.5 mg L⁻¹ veya daha az olması gerektiği; gelişmenin erken dönemlerinde bitki dokularındaki kritik S konsantrasyonunun mısır ve soya fasulyesi için 0.8 g kg⁻¹; pamuk, sorgum ve çeltik için 1.1-1.3 g kg⁻¹; buğday, ayçiçeği ve fasulye için ise 1.4-1.6 g kg⁻¹ olduğu belirtilmiştir.

3.5. Kükürt -verim ilişkileri

Yapılan tarla ve sera denemeleri sonucunda; S' ün buğdayda verim öğeleri üzerine etkisinin öncelikle başakta tane sayısı üzerine olduğu, ayrıca S noksanlığında başakçık veya çiçek oluşumunun gerilediği, çiçeklerin canlılığını kaybetme oranlarının arttığı bildirilmiştir (Archer 1974, Scott & ark., 1984, Haneklaus & ark., 1995). Diğer verim öğelerinden olan 1000 tane ağırlığı ve kardeşlenme sayısının, S noksanlığı şiddetli değilse daha az etkilendiği belirtilmiş ve bitkilerde şiddetli S noksanlığı durumunda S uygulamasının, düşük özgül ağırlığa sahip tane üretimine ve 1000 tane ağırlığının azalmasına sebep olduğu bildirilmiştir (Zhao & ark., 1997). Kükürdün buğday bitkisinin verimi ve verim öğelerine etkisine ait derlenen araştırma sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Dong & ark., (2003) tarafından, farklı dozlarda (0, 67.5 ve 90 kg S ha⁻¹) uygulanan S' ün iki kışlık buğday çeşidinin (Lumai 22 ve Yannong 15) protein kapsamı üzerine etkisini araştırmak üzere Çin'de yürütülen tarla denemesinde; S uygulamasının buğdayın bayrak yapraklarında ve kökünde nitrat redüktaz enzim aktivitesini artırdığı, 67.5 kg S ha⁻¹ uygulamasının tanenin protein kapsamını ve kalitesini, glutenin birikimini ve tane verimini artırdığı belirtilmiştir.

Inal & ark., (2003), 1999-2000 yılında yaptıkları bir tarama ve 2000-2001 yılında yaptıkları sera ve tarla denemeleri sonunda toprak, buğday samanı ve tanelerinin % 50' sinden daha fazlasında S noksanlığı tespit ettiklerini, toplam ve ekstrakte edilebilir S arasında ve hem toplam hem de ekstrakte edilebilir S ile tanenin S kapsamı arasında önemli korelasyon ilişkileri bulunduğunu, ayrıca saman ile tanenin S kapsamı arasında da önemli korelasyon bulunduğunu, ekmeklik (Bezostaja) ve makarnalık (Kızıltan) buğday çeşitlerinin verim ve verim öğelerinin hem sera hem de tarla denemelerinde önemli oranda etkilendiğini, sera denemesinde 10 mg kg⁻¹ S uygulamasıyla buğday çeşitlerinin kuru ağırlıklarının arttığı, tarla denemesinde ise 20 kg ha⁻¹ S uygulaması ile buğday çeşitlerinin tane verimlerinin arttığı, bitkide S konsantrasyonu, başakta tane verimi ve hasat indeksinin her iki buğday çeşidinde, m²' deki başak sayısı ile fertil ve kısır başakçık sayısının Bezostaja, 1000 tane ağırlığının ise Kızıltan çeşidinde S gübrelemesinden olumlu etkilendiği, S gübrelemesine bağlı olarak her iki çeşidin tane ve gövdesinde N/S oranının azaldığı belirtilmiştir.

Hoffmann & ark., (2004) tarafından, Almanya' da yapılan tarla denemeleri sonucunda ise S uygulamasının (0, 20 ve 40 kg S ha⁻¹), şeker pancarının genç yapraklarında S konsantrasyonunu

etkilemediği, ayrıca şeker pancarının verimi ve kalitesi üzerine de S uygulamasının bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir.

Malik & ark., (2004), kanola bitkisinin gelişimi, tohum verimi ve yağ içeriği üzerine 0, 25, 50, 100, 125 ve 150 kg S ha⁻¹ seviyelerinde uygulanan kükürdün etkisini araştırmak amacıyla yürüttükleri tarla denemesi sonucunda; en yüksek tohum veriminin (3725 kg ha⁻¹) 100 kg ha⁻¹ S uygulaması ile, en düşük tohum veriminin ise (2870 kg ha⁻¹) kontrol gruplarından elde edildiği, tohum yağ içeriğinin artan S seviyeleri ile arttığı ve en yüksek değer (%45.1) 150 kg ha⁻¹ S uygulaması ile elde edildiği, 100 kg ha⁻¹ S uygulamasının diğer tüm uygulamalardan daha ekonomik olduğu belirtilmiştir.

Györi (2005) tarafından, farklı buğday çeşitleri ile değişik topraklar üzerinde N, P ve K gübrelemesi (P kaynağı süperfosfat) yaparak, tanenin S içeriğine etkisini araştırmak amacıyla Macaristan’ da yapılan tarla denemesi sonucunda; kışlık buğday çeşitlerinin tanelerinin ortalama 1500 mg kg⁻¹ S içerdiği, çeşitler arasındaki farkın 120 mg kg⁻¹’ a ulaştığı, tanenin S içeriğinin S yanında N gübrelemesinden de etkilendiği, önemli N-S ilişkisine bağlı olarak artan protein içeriği ile tanenin S içeriğinin arttığı bildirilmiştir. Yıllık 100 kg ha⁻¹ süperfosfat (10 kg’ dan fazla S içeren) gübrelemesi ile 5 t ha⁻¹ tane verimi için yeterli S sağlanacağı belirtilmiştir.

Sofi & ark., (2004), farklı dozlarda kükürt (0, 30 ve 60 kg S ha⁻¹) ve azot (0, 60 ve 120 kg N ha⁻¹) gübrelemesinin ayçiçeği bitkisinin gelişimi ve verimi üzerine etkisini değerlendirmek amacıyla yürüttükleri tarla denemesi sonucunda; artan dozlarda uygulanan S ve N gübrelemesinin ayçiçeğinde klorofil ve karoten

kapsamlarını artırdığı, bu kriterler üzerine N' un S' ten daha etkili olduğu; ayrıca, tohum verimi, hektolitre ağırlığı, hasat indeksi ve protein kapsamının da her iki gübre dozunun artmasıyla birlikte arttığı, ancak tohum yağ içeriğinin N dozunun artmasıyla azalırken S dozunun artmasıyla birlikte arttığı bildirilmiştir.

Ruiz & ark., (2005) tarafından, fasulye bitkisinde NO₃-metabolizması üzerine S noksanlığı ve toksisitesinin etkilerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen bir sera denemesinde, besin çözeltisinde yetiştirilen fasulyeye S₀= 0 mM (noksan), S₁= 1.875 mM (yeterli) ve S₂= 18.75 mM (toksik) S uygulanmıştır. Araştırma sonucunda; fasulyenin S noksanlığına, toksisiteye göre çok daha hassas olduğu, S noksanlığının kuru madde miktarında S₁ dozuna göre %70, S toksisitesinin ise %58 oranında azalmaya neden olduğu, uygulanan S dozlarının kök ve yapraklarda NO₃⁻ konsantrasyonunu önemli derecede azalttığı, en yüksek NO₃⁻ konsantrasyonunun S₀, en düşük NO₃⁻ konsantrasyonunun ise S₂ dozunda olduğu, protein miktarının ise S₁ dozunda en yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Vijayapriya & ark., (2005), artan dozda S uygulamasının (0, 7.5, 15 ve 30 kg S ha⁻¹) Bradyrhizobium ile aşılınmış ve aşılınmamış soya fasulyesinin gelişimi ve verimi üzerine etkisini araştırdıkları sera denemesi sonucunda; bitki boyu, kök uzunluğu, kök ve gövde kuru ağırlığı, bir bitkideki bakla sayısı, 100 tohum ağırlığı ve tohum verimindeki en yüksek artışların 30 kg S ha⁻¹ uygulaması ile birlikte aşılama yapılmış bitkilerden elde edildiği ve tohum veriminin kontrolden %44 oranında fazla olduğu bildirilmiştir.

Khan & ark., (2006), artan dozda S gübrelemesinin mısır bitkisinde verim ve verim öğeleri üzerine etkisini araştırmak

amacıyla Pakistan’ da yürüttükleri tarla denemesinde; 0, 20, 40, 60, 80, 100 ve 120 kg ha⁻¹ S jipsten uygulanmıştır. Araştırma sonucunda; S uygulaması ile mısırın verim ve verim öğelerinde kontrole göre önemli artışlar sağlandığı, en yüksek artışın S’ n 60 kg ha⁻¹ seviyesinde olduğu ve bu seviyenin yaş ağırlığı %41, kuru ağırlığı %55, sap verimini %58, 1000 tane ağırlığını %5 ve toplam tane verimini %43 oranında artırdığı, yaprakların S konsantrasyonunun artan S dozlarıyla önemli derecede arttığı, 60 kg ha⁻¹ dozunda yaprak S konsantrasyonunun %0.46 olarak tespit edildiği ve kritik seviye olan %0.5’ ten az olduğu, S’ n daha yüksek dozlarında S konsantrasyonunun %0.67-0.94 arasında değiştiği bildirilmiş ve mısır yetiştiriciliğinde maksimum verim için en az 60 kg S ha⁻¹ uygulaması tavsiye edilmiştir.

Zhao & ark., (2006), artan dozda S uygulamasının arpa bitkisinde verim ve malt kalitesi üzerine etkisini araştırmak amacıyla İngiltere’ nin 4 farklı bölgesinde yürüttükleri denemeler sonucunda; 8 adet tarla denemesinin 5 adedinde S uygulaması ile birlikte verimde %4.7-22.5 arasında değişen önemli artışlar tespit edilmiş, S noksanlığının en yaygın olduğu 2 bölgede ise S uygulamasının maltın diastatik gücünü, alfa amilaz aktivitesini, maltlaşma sırasında endospermdeki değişimin iyileşmesinin bir göstergesi olan kolay ufalanabilirliği, homojeniteyi ve biranın tadına etki eden dimetilslfid konsantrasyonunun arttığı, ayrıca N’ un sınırlı olduğu koşullarda S uygulaması ile tane veriminin artması sonucu seyrelme etkisine bağlı olarak tanenin N konsantrasyonunun azaldığı, bazı durumlarda ise tane büyüklüğünün azaldığı belirtilmiştir.

3.6. Kükürt -kalite ilişkileri

3.6.1 Amino asit oluşumu

Olgun buğday tanesinde kükürdün büyük bir kısmı proteinlerde sistein ve metionin olarak bulunur. Vejetatif dokularda toplam kükürdün %50' si sülfat olarak bulunurken, olgun bir buğday tanesinde sülfat miktarı çok azdır ve genellikle toplam S içeriğinin %1-5' i arasındadır (Byers & ark., 1987a). Byers & Bolton (1979) tarafından yapılan bir sera denemesinde, S ilavesinin buğday tanesinde toplam amino asitlerin oluşumuna etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, S noksanlığının tanede sistein ve metionin konsantrasyonunu azalttığı, bu etkinin sisteinde metioninden daha güçlü olduğu belirtilmiştir.

3.6.2 Protein oluşumu

Geleneksel olarak tohum proteinleri sırasıyla albuminler, suda çözünen; globulinler, seyreltik tuz çözeltisinde çözünen; prolaminler, alkol/su karışımında çözünenler ve glutelinler, seyreltik asit veya alkalilerde çözünenler olarak sınıflandırılırlar (Shewry 1995). Bu proteinlerin en önemli görevi genç fideciklerin büyümesi için N, S ve C sağlamak üzere depo vazifesi görmesidir. Toplam tane N' unun yaklaşık %50' sini oluşturan prolaminler ayrıca buğday tanelerinde depo proteinlerinin de bileşenidir. Prolaminler de ayrıca gliadinler ve gluteninler olarak ileri derecede sınıflandırmaya tabi tutulurlar. Gliadinler sulu alkol çözeltilerinde çözünebilen monomerler iken, gluteninler ise yalnızca indirgen maddelerde alt üniteler arasındaki disülfüt bağları kırıldıktan sonra sulu alkol çözeltileriyle ekstrakte edilebilen düşük (LMW) ve yüksek (HMW) molekül ağırlıklı alt üniteler içeren polimerlerdir.

Kükürtçe zengin prolaminler, α ve γ -gliadinler ile sistein molekülünün %2-3' ünü kapsayan gluteninlerin LMW alt ünitelerini içerir. Toplam prolaminlerin %70-80' ine ulaşan bu grup miktar

olarak en fazla bulunur. ω -gliadinlerin artan sentezi S noksanlığına tepki olarak en dikkat çekici değişiklik olarak görünmektedir (Zhao & ark., 1999a).

Gluteninlerin en önemli bileşenleri LMW alt üniteleri olduğundan unda polimerik proteinlerin (gluteninlerin) toplam miktarının azalması S noksanlığının net sonucudur. Artan deliller ekmek yapım kalitesinin alt ünitelerin bileşeninden çok glutenin miktarı veya glutenin makro polimerlerin miktarıyla daha yakından ilişkili olduğunu göstermektedir (Weegel & ark., 1996). Ekmek yapım kalitesinde S' ün etkisi, büyük oranda S' ün glutenin miktarına etkisinden kaynaklanmaktadır. Yukarıda anlatıldığı gibi, buğdayın kükürtle beslenmesi genel olarak tanenin toplam protein kapsamını az etkilemekle birlikte, tanenin depo proteinleri kapsamını önemli oranda etkilediğini açık bir şekilde göstermektedir.

3.6.3 Buğday hamurunun reolojik özellikleri

Buğday unu suyla karıştırıldığında prolaminler, 'gluten' olarak adlandırılan sürekli (zincirleme) bir ağ oluştururlar. Buğday gluteni, elastikliğinin veya dayanıklılığının reolojik özelliklerini sergilemesi ve diğer tahılların depo proteinlerinde esneklik, uzama, viskozite gibi özelliklerin olmaması nedeniyle çok önemlidir. Bu yüzden ekmek, tahıllar içinde genellikle ve yaygın olarak sadece buğdaylardan yapılır.

Sistein çökeleklerinin sülfidril ya da tiyol (-SH) grupları arasında oluşan disülfid bağları (S-S)' nin buğday proteinlerinin strüktür ve özelliklerini belirlemede çok önemli rol oynadıkları iyi bilinmektedir (Wall 1971, Shewry & Tatham 1997). Zhao & ark., (1999b), hem N ve hem de S uygulamalarının jel protein kapsamını

artırma eğiliminde olması nedeniyle N ve S' ün hamur elastikiyetini artırdığını belirtmiştir. MacRitchie & Gupta (1993)' ya göre, kükürdün hamur özelliklerine etkisi özellikle prolamin oluşumu üzerine olan etkisinden kaynaklanmaktadır.

Kükürdün ekmek yapım kalitesine etkisini gösteren çalışma sayısı çok fazla olmamakla birlikte çeşitlidir ve bu çalışmalar ekmek yapım kalitesine S' ün etkisinin önemini açık bir şekilde göstermektedir.

Makarnalık buğdaylarda tanenin kükürt içeriğinin pişirme kalitesi üzerine etkisine ait araştırma sayısı çok azdır. Alary & Kobrehel (1987) tarafından, gluteninlerin toplam -SH ve S-S konsantrasyonları ile makarna pişirme kalitesi arasında önemli korelasyon olduğu belirtilmiştir.

Luo & ark., (2000), kükürt ve azot gübrelemesinin farklı buğday genotiplerinin bazı kalite parametrelerine etkisini araştırmak amacıyla Yeni Zelanda' da yürüttükleri denemeler sonucunda; N gübrelemesinin tanenin protein miktarını ve tane sertliğini önemli oranda artırdığı, gelişmenin erken döneminde uygulanan N' un ve geç dönemde N' la birlikte uygulanan S' ün SDS-sedimentasyon değerini önemli oranda artırdığı, test edilen bütün kalite parametreleri üzerine genotipin çevre faktörlerinden daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Koehler & Wieser (2003), gluten protein tiplerinin dağılım miktarlarının S gübrelemesinden önemli oranda etkilendiğini, S noksanlığının bir sonucu olan yoğurmaya karşı direncin artmasının, yüksek molekül ağırlıklı glutenin alt üniteleri/düşük molekül ağırlıklı glutenin alt üniteleri (HMW/LMW) oranının artmasına bağlı olduğunu, hamur elastikiyetindeki azalmanın ise LMW

gluteninlerin ve bazı gliadinlerin (α -, β -, γ -gliadin) oranlarının azalması sonucu meydana geldiğini belirtmiştir.

Wieser & ark., (2004), bir yazlık buğday çeşidinde (Star) tanenin basit protein tiplerinin miktarı ve oranları üzerine artan dozda S uygulamasının (0, 6, 12 ve 24 mg S kg⁻¹) etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada; S uygulamalarının tane veriminde önemli farklılıklar yarattığı, 24 mg S kg⁻¹ S dozunun tane verimini kontrole göre %38 oranında artırdığı, tanenin S kapsamının %0.083' ten %0.138' e yükseldiği, N kapsamının ise (%2.66–2.75) kükürt uygulamalarından az etkilendiği bildirilmiştir. Bütün S uygulamalarında tanenin N/S oranının, S noksanlığında kritik değer olarak kabul edilen 17:1 değerinden daha geniş olduğu belirlenirken; bu sonuç uygulanan S' ün en yüksek dozunun da optimum seviyenin altında kalmış olabilmesine bağlanmıştır. Araştırmacılar, artan dozda uygulanan S' ün tanenin protein miktarını çok az etkilediğini, tanenin S içeriğinin kritik değer olan %0.12' den fazla olduğu durumlarda toplam gluten proteinlerinin miktarının S gübrelemesinden etkilenmediğini ancak tane S içeriğinin %0.12' den az olduğu durumlarda toplam gluten proteinlerinin miktarının önemli oranda azaldığını belirtmişlerdir. Toplam gluten proteinlerinin ve ham protein miktarının uygulanan S' ten az etkilenmesine rağmen, ekmeklik kalitesini etkileyen basit protein tiplerinin miktar ve oranlarının S gübrelemesinden kuvvetli bir şekilde etkilendiği, S noksanlığında S' çe fakir yüksek molekül ağırlıklı (HMW) gluten alt üniteleri ve ω - gliadin miktarı artarken S' çe zengin düşük molekül ağırlıklı (LMW) gluten alt üniteleri ve γ -gliadin miktarının önemli oranda azaldığı belirtilmiştir.

Garrido-Lestache & ark., (2005) tarafından, N' lu gübrenin oranı, uygulama zamanı ve bölerek uygulamanın ve N' la birlikte S

gübrelemesinin makarnalık buğdayın kalitesi üzerine etkisini araştırmak amacıyla yürütülen üç farklı tarla denemesi sonucunda; en yüksek tane verimi 100 kg ha^{-1} N uygulamasından alınırken en fazla tane protein konsantrasyonu 200 kg ha^{-1} N uygulamasından elde edilmiştir. Azot oranlarının artması camısı tane miktarını artırmış ve en yüksek değer 200 kg N ha^{-1} uygulamasında elde edilmiştir. Azotlu gübrenin uygulama zamanı ve bölünerek verilmesi buğdayın tane verimi ve kalite özellikleri üzerine belirgin bir etki yapmamıştır. Başaklanma döneminde yapraktan N uygulaması ise tane protein konsantrasyonu, camısı tane sayısı ve tanede kül miktarını artırmıştır. Aynı çalışmada topraktan ve yapraktan S uygulamasının, tanede kül miktarı hariç makarnalık buğdayın kalite özellikleri üzerine önemli bir etki yapmadığı bildirilmiştir.

Lerner & ark., (2006) tarafından, 4 farklı makarnalık buğday çeşidinde N ve S gübrelemesinin tanenin protein ve S içeriğine, SDS-sedimentasyon değerine ve endüstriyel kalitesine etkisini araştırmak amacıyla Arjantin’ de yürütülen 2 yıllık tarla denemesinde S 40 kg ha^{-1} dozunda K_2SO_4 , N ise 150 kg ha^{-1} dozunda üre olarak 4 farklı kombinasyonda (N0S0, N0S1, N1S0, N1S1) uygulanmıştır. Araştırma sonucunda; incelenen bütün özelliklerde gübre uygulamaları arasında ve çeşitler arasında önemli farklılıklar gözlemlendiği, toprakta yarayışlı S’ ün sınırlayıcı bir faktör olmamasına rağmen S gübrelemesinin tanenin protein içeriği, SDS-sedimentasyon değeri ve N/S oranını önemli oranda etkilediği fakat hamurun reolojik özelliklerinde değişiklik meydana getirmediği, SDS-sedimentasyon değeri için en iyi gübre dozunun N1S1 olduğu ve SDS-sedimentasyon değeri ile farinograf enerji seviyesi ve viskoelastikiyet arasında kuvvetli korelasyon olduğu belirtilmiştir.

5. SONUÇ

Dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de S içeren gübrelerin kullanımının ve atmosferdeki SO₂ emisyonunun azalması, kültür bitkilerinde yaygın olarak S noksanlığının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Ancak ülkemizde S' ün buğdayda ve diğer bitkilerde verim ve kalite özelliklerine etkisine ait yapılan çalışma sayısı yok denilebilecek boyuttadır.

Kükürt gübrelemesi ile bitkisel üretimde verim artışının yanı sıra kalitede de önemli iyileşmeler sağlanacaktır. Kaliteli ürünün pazar fiyatının %10-20 arasında daha fazla olduğu kabul edilirse, kalitenin artmasından sağlanacak ekonomik kazancın yanı sıra sağlık açısından da önemli kazanımlar elde edileceği düşünülmektedir.

Kükürt gübrelemesinin buğdayın verimi ve kalitesinde sağladığı iyileşmeler S' e gereksinimi daha fazla olan baklagillerin ekim alanlarında da S uygulamasını gündeme getirecektir.

Eskiden amonyum sülfat ve süper fosfat gibi azotlu ve fosforlu gübrelerle toprağa kükürt ilave edilmesi nedeniyle kükürt noksanlığı sorun olmazken, bu gübrelerin kullanımının giderek azalması hatta hiç kullanılmaması kükürt noksanlığı problemini gündeme getirmiştir.

Sonuç olarak, kükürt uygulamasının bitkisel üretimde verim, verim öğeleri ve kalite özellikleri üzerine olumlu etkilerine ait önemli bulgular göz önüne alındığında üründe N gübrelemesine olduğu kadar S gübrelemesine de ihtiyaç duyulduğu açıktır. Bu durum buğday gübreleme programına kükürdün de dâhil edilmesi gerekliliğini ve bu yolla Türkiye' de N' lu gübre kullanımının optimize edilebileceğini göstermekte ve buğday gübrelemesinde azot ekonomisinde kükürdün önemini ortaya koymaktadır. Bu

nedenle bitkisel üretimde gübre uygulamalarında mutlaka S gündeme alınmalı ve S içeren gübrelerin üretimi ve kullanımı teşvik edilmeli, ayrıca ülkemizde verim ve kalitedeki kayıpları önlemek ve farklı bölgelerde ve ürünlerde S noksanlığını tespit etmek amacıyla sistematik çalışmalar yapılmalıdır.

Kaynaklar

Alary, R. and Kobrehel, K. 1987. The sulfhydryl plus disulfide content in the proteins of durum wheat and its relationship with the cooking quality of pasta. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 39: 13-136.

Anderson, J.W. & Fitzgerald, M.A. 2001. Physiological and metabolic origin of sulphur for the synthesis of seed storage proteins. *J. Plant Physiol*. 158: 447-456.

Anonim, 1997. Ülke genelinde yürütülen hava kirliliği izleme faaliyetleri. *Uluslararası Katılımlı I.Ulusal Çevre Hekimliği Kongresi*.8-12 Aralık, Ankara.

Anonim, 2000. Türkçeleştirilmiş AB Yayınları- Broşürleri. Avrupa Birliği ve Çevre.

Anonim, 2001. T.C. Tarım Bakanlığı gübre tüketimi verileri, Ankara.

Anonim, 2002. Hıfzısıhha Merk. Bşk. Çevre Sağ. Araşt. Md., Hava Kalite Kontrol ve Araşt. Lab. Ver., Ankara.

Archer, M.J. 1974. A sand culture experiment to compare the effects of sulphur on five wheat cultuvars (T. aestivum). *Australian Journal of Agricultural Research*. 25: 369-380.

Banerjee, M.R. & Chapman, S.J. 1996. The significance of microbial biomass sulphur in soil. *Biol. Fertil. Soils* 22: 116–125.

Banerjee, M.R., Chapman, S.J. and Killham, K. 1993. Factors influencing the determination of microbial biomass sulphur in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 24: 939–950.

Beaton, J.D. & Soper, R.J. 1986. Plant response to sulfur in the Western Canada. In 'Sulfur in Agriculture', (M.A. Tabatabai, ed.), American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, *Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin, U.S.A. 375–403.

Bergmann, W. 1992. Nutritional Disorders of Plants. pp 108–109, *Gustav Fisher Verlag*, Stuttgart.

Bloem, E.M. 1998. Schwefel-Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften, vol. 192: 156 pp.

Bowen, G.D. & Rovira, A.D. 1971. Relationship between root morphology and nutrient uptake. *Recent Adv. Plant Nutr.* 1: 250–260.

Brunold, C. 1993. Regulatory interactions between sulfate and nitrate assimilation. In: De Kok, L.J., Stulen, I., Rennenberg, H., Brunold, C., Rauser, W.E. (Eds.), Sulfur Nutrition and Assimilation in Higher Plants. *SPB Academic Publishing*, The Hague, The Netherlands, pp. 62–75.

Byers, M. and Bolton, J. 1979. Effects of nitrogen and sulphur fertilizers on the yield, N and S content, and amino acid composition of the grain of spring wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 30: 251–263.

Byers, M., Franklin, J. and Smith, S.J. 1987a. The nitrogen and sulphur nutrition of wheat and its effect on the composition and baking quality of the grain. *Aspects of Applied Biology, Cereal Quality*. 15: 337–344.

Byers, M., McGrath, S.P. and Webster, R.A. 1987b. A survey of the sulphur content of wheat grown in Britain. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 38: 151-160.

Cacco, G., Ferrari, G. & Saccomani, M. 1980. Pattern of sulfate uptake during root longation in maize: its correlation to productivity. *Physiol. Plant* 48: 375–378.

Castellano, S.D. & Dick, R.P. 1991. Cropping and sulfur fertilization influence on sulfur transformations in soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 114–121.

Cecotti, S.P. & Messick, D.L., 1994. Increasing plant nutrient sulfur use in the European fertilizer industry. *Agro. Ind. Hi-Tech*. 5: 9-14.

Cecotti, S.P. 1996. A global review of nutrient sulphur balance, fertilizer and the environment. *Agro-Food-Intustry Hi-Tech*. 7: 18-22.

Clarkson, D.T., Hawkesford, M.J. & Davidian, J.C. 1993. Membrane and long-distance transport of sulfate. In: De Kok, L.J., Stulen, L., Rennenberg, H., Brunold, C., Rauser, W.E. (Eds.), Sulfur Nutrition and Assimilation in Higher Plants, Regulatory, Agricultural and Environmental Aspects. *SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands*, pp. 3–19.

Dong, W., ZhenWen, Y. and XuDong, W. 2003. Effects of sulfur on protein accumulation in kernels of winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*. 29(6): 878-883.

Elkins, D.M. & Ensminger, L.E. 1971. Effect of soil pH on the availability of adsorbed sulfate. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 931–943.

Eriksen, J. 1997a. Sulphur cycling in Danish agricultural soils: inorganic sulphate dynamics and plant uptake. *Soil Biol. Biochem.* 29: 1379-1385.

Eriksen, J., Mortensen, J.V., Kjellerup, V.K. & Kristjansen, O. 1995. Forms and plant availability of sulfur in cattle and pig slurry. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 158: 113–116.

Eriksen, J., Murphy, M.D. & Schnug, E. 1998. The soil sulphur cycle. In: Schnug, E. (Ed.), *Sulphur in Agroecosystems. Kluwer Academic Press, The Netherlands*, pp. 39–73.

Faller, N. 1972. Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff, nitrose Gase und Ammoniak als ausschließliche S-bzw. N-Quellen der höheren Pflanzen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 131: 120–130.

Farahbakhsh, H., Scarisbrick, D.H. and Clewer, A.G. 1999. An investigation of the uptake and mobilization of sulfate in wheat using radiolabelled sulphur. *Journal of agricultural Science.* 133: 37-43.

Fitzgerald, M.A., Ugalde, T.D. & Anderson, J.W. 1999a. Sulphur nutrition changes the sources of S in vegetative tissues of wheat during generative growth. *Journal of Experimental Botany.* 50(333): 499-508.

Fitzgerald, M.A., Ugalde, T.D. & Anderson, J.W. 1999b. S nutrition affects the pools of S available to developing grains of wheat. *Journal of Experimental Botany.* 50(339): 1587-1592.

Flaete, N.E.S., Hollung, L., Ruud, L., Sogn, T., Faergestad, E.M., Skarpeid, H.J., Magnus, E.M. & Uhlen, A.K. 2005. Combined nitrogen and sulphur fertilization and its effect on wheat quality and protein composition measured by SE-FPLC and proteomics. *J. Cereal Sci.* 41: 357-369.

Frankhauser, H. & Brunold, C. 1978. Localization of adenosine 5%-phosphosulfate sulfotransferase in spinach leaves. *Planta*. 143: 285–289.

Freney, J.R. 1986. Forms & reactions of organic S compounds in soils. In: Tabatabai, M.A. (Ed.), Sulfur in agriculture. *Agron. Monogr*, vol. 27. ASA, CSSA, and SSSA, Madison.

Garrido-Lestache, E., Lopez-Bellido, R.J. and Lopez-Bellido, L. 2005. Durum wheat quality under Mediterranean conditions as affected by N rate, timing and splitting, N form and S fertilization. *Europ. J. Agronomy*. 23(3): 265-278.

Ghani, A., McLaren, R.G. & Swift, R.S. 1990. Seasonal fluctuations of sulphate and soil microbial biomass-S in the surface of a Wakanui soil. *New Zealand J. Agric. Res.* 33, 467–472.

Gupta, V.K., Sanjeev, K. & Singh, A.K. 2004. Yield and quality of wheat (*Triticum aestivum*) as influenced by sulphur nutrition and weed management. *Indian J. Agric. Sci.* 74(5): 254-256.

Gupta, V.V.S.R. & Germida, J.J. 1989. Microbial biomass and extractable sulfate sulfite levels in native and cultivated soils as influenced by air-drying and rewetting. *Can. J. Soil Sci.* 69, 889–894.

Györi, Z. 2005. Sulphur content of winter wheat grain in long term field experiments. *Comm. Soil Sci. and Plant Analy.*, 36: 373-382.

Haneklaus, S., Murphy, D.P.L., Nowak, G. and Schnug, E. 1995. Effects of the timing of sulphur application on grain yield and

yield components of wheat. *Zeitschrift fur Pflanzenernahrung und Bodenkunde*. 158: 83-85.

Hell, R. & Rennenberg, H. 1998. The plant sulphur cycle. In: Schnug, E. (Ed.), *Sulphur in Agroecosystems*. Kluwer Academic Press, The Netherlands, pp. 135–173.

Hendrix, J.E. 1967. The effect of pH on the uptake and accumulation of phosphate and sulfate ions by bean plants. *Am. J. Bot.* 54: 560-564.

Hitsuda, K., Sfredo, G.J. & Klepker, D. 2004. Diagnosis sulfur deficiency in soybean using seeds. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68(4): 1445-1451.

Hitsuda, K., Yamada, M. & Klepker, D. 2005. Sulfur Requirement of Eight Crops at Early Stages of Growth. *Agron. J.* 97:155–159.

Hoffmann, C., Stockfisch, N. and Koch, H.J. 2004. Influence of sulphur supply on yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) determination of a threshold value. *Europ. J. Agronomy*. 21: 69-80.

Inal, A., Gunes, A., Alpaslan, M., Adak, M.S., Taban, S. & Eraslan, F. 2003. Diagnosis of sulfur deficiency and effects of sulfur on yield and yield components of wheat grown in Central Anatolia, Turkey. *J. Plant Nutr.* 26(7): 1483-1498.

Jaggi, A.C., Aulakh, M.S. & Sharma, R. 1999. Temperature effects on soil organic sulphur mineralization in subtropical soils of varying pH. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 54: 175–182.

Kacar, B. 1968. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinden alınan topraklarda bitki tarafından faydalanılabilir haldeki kükürt durumu. *Ankara Üni. Ziraat Fakültesi Yıllığı*.18: 77-78.

Kacar, B. ve Amin, S.M. 1985. Trakya Bölgesi Meriç Havzası topraklarının kükürt durumu ve bu topraklarda bitkiye yarayışlı kükürt miktarının belirlenmesinde uygulanacak yöntemler üzerinde bir araştırma. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*. 1: 62-71.

Kettlewell, P.S., Griffiths, M.W., Hocking, T.J. & Wallington, D.J. 1998. Dependence of wheat dough extensibility on flour sulphur and nitrogen concentrations and the influence of foliar-applied sulphur and nitrogen fertilizers. *J. Cereal Sci.* 28: 15-23.

Khan, M.J., Khan, M.H., Khattak, R.A. and Jan, M.T. 2006. Response of maize to different levels of sulfur. *Comm. in Soil Sci. Plant Anal.* 37: 41-51.

Klose, S., Moore, J.M. & Tabatabai, M.A. 1999. Arylsulfatase activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems. *Biol. Fertil. Soils* 29: 46-54.

Koehler, P. and Wieser, H. 2003. Influence of sulphur fertilization on the quantitative composition of gluten protein types in wheat flour, in: Lafiandra, D., Macsi, S., D'Ovidio, R. (Eds.), The Gluten Proteins-Proceedings of the Eighth Gluten Workshop, September 8-19, 2003, Viterbo, Italy. *Royal Society of Chemistry*, Cambridge, UK, pp. 188-191.

Leggett, J.E. & Epstein, E. 1956. Kinetics of sulfate adsorption by barley roots. *Plant Physiol.* 31: 222-226.

Lerner, S.E., Seghezzo, M.L., Molfese, E.R., Ponzio, N.R., Cogliatti, M. and Rogers, W.J. 2006. N- and S-fertiliser effects on

grain composition, industrial quality and end-use in durum wheat. *J. Cereal Sci.* 1-10.

Leusteck, T. & Saito, K. 1999. Sulphate transport and the assimilation in plants. *Plant Physiol.* 120: 637–643.

Luo, C., Branlard, G., Griffin, W.B. and McNeil, D.L. 2000. The effect of nitrogen and sulphur fertilization and their interaction with genotype on wheat glutenins and quality parameters. *J. Cereal Sci.* 31: 185-194.

MacRitchie, F. and Gupta, R.B. Functionality-composition relationships of wheat flour as a result of variation in sulfur availability. *Australian Journal of Agricultural Research.* 44: 1767-1774.

Malik, M.A., Aziz, I., Khan, H.Z. and Wahid, M.A. 2004. Growth, seed yield and oil content response of canola (*Brassica napus* L.) to varying levels of sulphur. *International Journal of Agriculture and Biology.* 6(6): 1153-1155.

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Edition. *Academic Pres.* New York.

McGrath, S.P. & Zhao, F.J. 1995. A risk assessment of sulphur deficiency in cereals using soil and atmospheric deposition data. *Soil Use and Management.* 11: 110-114.

McGrath, S.P., Zhao, F.J. & Withers, P.J.A. 1996. Development of sulphur deficiency in crops and its treatment. *Proceedings of the Fertiliser Society*, No. 379. Peterborough, The Fertiliser Society.

McLaren, R.G., Kerr, J.I. & Swift, R.S. 1985. Sulphur transformations in soils using sulphur-5 labelling. *Soil Biochem.* 17: 73-79.

Mehlich, A., 1964. Muence of sorbed hydroxyl and sulfate on liming efficiency, pH and conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 496-499.

Mengel, K. & Kirkby, E.A. 1987. Principles of Plant Nutrition. *International Potash Institute*, Bern, Switzerland.

Moss, H.J., Wrigley, C.W., MacRichie, R. & Randall, P.J. 1981. Sulfur and nitrogen fertilizer effects on wheat. II. Influence on grain quality. *Australian J. Agr. Res.* 32(2): 213-226.

Pasricha, N.S. & Fox, R.L. 1993. Plant nutrient sulfur in the tropics and subtropics. *Advances in Agronomy.* 50: 209-269.

Randall, P.J. & Wrigley, C.W. 1986. Effects of sulfur supply on the yield, composition and quality of grain from cereals, oilseeds, and legumes. *Advances in Cereal Science and Technology.* 8: 171-206.

Rasmussen, P.E. & Kresge, P.O. 1986. Plant response to sulfur in the Western United States. In 'Sulphur in agriculture', (M.A. Tabatabai, ed.), American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, *Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin, U.S.A. 357-374.

Rasmussen, P.E., Ramig, R.E., Allmaras, R.R. and Smith, C.M. 1975. Nitrogen-sulfur relations in soft white winter wheat. II. Initial and residuals effects of sulfur application on nutrient concentration, uptake, and N/S ratio. *Agronomy journal.* 67: 224-228.

Rasmussen, P.E., Ramig, R.E., Ekin, L.G. and Rohde, C.R. 1977. Tissue analyses guidelines for diagnosing sulfur deficiency in white wheat. *Plant and Soil*. 46: 153-163.

Rennenberg, H. 1983. Role of O-acetylserine in hydrogen sulfide emission from pumpkin leaves in response to sulfate. *Plant Physiol*. 73: 560-565.

Riley, N.G., Zhao, F.J. & McGrath, S.P. 2000. Availability of different forms of sulphur fertilizers to wheat and oilseed rape. *Plant and Soil*. 222: 139-147.

Robson, A.D., Osborne, L.D., Snowball, K. & Simmons, W.J. 1995. Assessing sulfur status in lupins and wheat. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 35: 79-86.

Ruiz, J.M., Rivero, R.M. and Romero, L. 2005. Regulation of nitrogen assimilation by sulfur in bean. *J. Plant. Nut.* 28: 1163-1174.

Saalbach, E., 1984. Die Bedeutung atmosphärischer Schwefelverbindungen für landwirtschaftliche Kulturpflanzen. *Angew. Bot.* 58: 147-156.

Scherer, H.W., 2001. Sulphur in crop production-invited paper. *European Jr. of Agronomy*. 14: 81-111.

Schmutz, D. and Brunold, C., 1984. Intercellular localization of assimilatory sulfate reduction in leaves of *Zea mays* and *Triticum aestivum*. *Plant Physiol*. 74: 866-870.

Schnug, E. 1991. Sulphur status of European crops and consequences for agriculture. *Sulphur in Agriculture*. 15: 7-12.

Scott, N.M., Dyson, P.W., Ross, J. and Sharp, G.S. 1984. The effect of sulphur on the yield and chemical composition of winter barley. *Journal of agricultural Science*. 103: 699-702.

Serrano, R.E., Arias, J.S. and Fernandez, P.G. 1999. Soil properties that affect sulphate adsorption by palexerults in western and central Spain. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 30: 1521-1530.

Shewry, P.R. 1995. Plant storage proteins. *Biological reviews*. 70: 375-426.

Shewry, P.R. and Tatham, A.S. 1997. Disulphide bonds in wheat gluten proteins. *Journal of Cereal Science*. 25: 207-227.

Smith, I.K. 1976. Characterization of sulfate transport incultured tobacco cells. *Plant Physiol*. 58: 358-362.

Spencer, K. & Freney, J.R. 1980. Assessing the sulfur status of field-grown wheat by plant analysis. *Agronomy Journal*. 72: 469-472.

Stevenson, F.J. 1986. Cycles of soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. *John Wiley & Sons*, New York.

T.C. Başbakanlık D.İ.E. Çevre İstatistikleri, Hava Kirliliği. (1990-1997), Ankara.

T.C. Başbakanlık D.İ.E. Haber Bülteni. (1998,1999,2000, 2001, 2002 , 2003,2004,2005, 2006, 2007, 2008), Ankara.

Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D. & Havlin, U. 1993. Soil fertility and fertilizers. *Prentice Hall*, New Jersey.

Ülgen, N., Eyüpoğlu, F., Kurucu, N. ve Talaz, S. 1989. Türkiye topraklarının bitkiye yarayışlı kükürt durumu. *Toprak*

Gübre Araştırma Enstitüsü. Genel Yayın No:162. Teknik Yayın No: 60.

Vijayapriya, M., Muthukkaruppan, S.M. and Sriramachandrasekharan, M.V. 2005. Soybean response to applied sulphur and Bradyrhizobium inoculation in clay loam soil. *Advances in Plant Sciences*. 18(1): 105-109.

Walker, K.C. & Booth, E.J. 1992. Sulphur research on oilseed rape in Scotland. *Sulphur Agric*. 16: 15-19.

Wall, J.S. 1971. Disulfide bonds: determination, location, and influence on molecular properties of proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 19: 619-625.

Weegel, P.L., Hamer, R.J. and Schofield, J.D. 1996. Functional properties of wheat glutenin. *J. Cereal Sci*. 23: 1-18.

Westfall, D.G., Whitney, D.A. & Brandon, D.M. 1990. Plant analysis as an aid in fertilizing small grains. In 'Soil Testing and Plant Analysis, 3rd Edition', R.L. Westerman, ed.), *Soil Science Society of America*, Madison, Wisconsin, U.S.A. 495-519.

Wieser, H., Gutser, R. and Tucher, S. 2004. Influence of sulphur fertilization on quantities and proportions of gluten protein types in wheat flour. *J. Cereal Sci*. 40: 239-244.

Withers, P.J.A. & Sinclair, A.H. 1994. Sulphur nutrition of cereals in the UK: effects on yield and grain quality. *Home-Grown Cereals Authority*. Research Review No. 30. London.

Withers, P.J.A., Tytherleigh, A.R.J. & O'Donnell, F.M. 1995. Effects of sulphur fertilizers on the grain yield and sulphur content of cereals. *Journal of agricultural Science*. 125: 317-324.

Wu, J., O'Donnell, A.G. & Syers, J.K. 1993. Microbial growth and sulphur immobilization following the incorporation of plant residues into soil. *Soil Biol. Biochem.* 25: 1567-1573.

Zadoks, J.C., Chang, T.T. & Konzak, C.F. 1974. A decimal code for growth stage in cereals. *Weed Research.* 14: 415-421.

Zhao, F.J., Fortune, S., Barbosa, V.L., McGrath, S.P., Stobart, R., Bilsborrow, P.E., Booth, E.J., Brown, A., Robson, P. 2006. Effects of sulphur on yield and malting quality of barley. *J. Cereal Sci.* 43: 369-377.

Zhao, F.J., Hawkesford, M.T. & McGrath, S.P. 1999a. Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *J. Cereal Sci.* 30: 1-17.

Zhao, F.J., McGrath, S.P., Crosland, A.R. & Salmon, S.E. 1995. Changes in the sulfur status of British wheat-grain in the last decade, and its geographical-distribution. *Journal of the Science of Food and Agriculture.* 68: 507-514.

Zhao, F.J., McGrath, S.P., Salmon, S.E., Shewry, P.R., Quayle, R., Withers, P.J.A., Evans, E.J. and Monaghan, J. 1997. Optimizing sulphur inputs for breadmaking quality of wheat. In 'Aspects of Applied Biology' 50, Optimizing Cereals Inputs: Its Scientific Basis', (M.J. Gooding and P.R. Shewry, eds.), *The Association of Applied Biologists*, Wellesbourne, U.K. 199-205.

Zhao, F.J., Salmon, S.E., Withers, P.J.A., Monaghan, J.M., Evans, E.J., Shewry, P.R. & McGrath, S.P. 1999b. Variation in the breadmaking quality and rheological properties of wheat in relation to sulphur nutrition under field conditions. *J. Cereal Sci.* 30: 19-31.

CHAPTER III

Agronomic Biofortification Applications in Agriculture

İlker SÖNMEZ¹
Sahriye SÖNMEZ²

Introduction

Although it is accepted that the nutritional properties of the products produced to meet the nutritional requirements of living organisms are adequate, recent studies have shown that foods cannot provide some nutrients and this situation has been named as ‘Hidden Hunger’. The slowdown in the development of plants that cannot be cultivated with sufficient nutrients has resulted in the emergence of nutritional issues, commonly referred to as "hidden hunger," in

¹ Assoc.Prof.Dr., Akdeniz University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Antalya, Türkiye. ORCID: 0000-0001-7264-7805, ilkersonmez@akdeniz.edu.tr

² Prof.Dr.,Akdeniz University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Antalya, Türkiye. ORCID: 0000-0003-2753-229, ssonmez@akdeniz.edu.tr,

societies that rely on products derived from these plants (Valença & et al., 2017). Hidden hunger is a problem that can be addressed by direct and indirect interventions (Ruel & et al., 2013). Direct interventions include dietary diversity, micronutrient supplements, modification of food choices, and fortification. In contrast, nutrient-sensitive interventions address the determinants underlying malnutrition and include biofortification.

The World Health Organization plays a pivotal role in combating malnutrition by establishing guidelines and recommendations on food fortification. In 2006, the World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization (FAO) published the Guidelines for Food Fortification with Microelements, which prioritizes food fortification and serves as a resource (WHO/FAO, 2006). The use of fortified food supplements in ensuring the nutritional adequacy of living beings has been demonstrated to be a necessity for a healthy life.

Agriculture has an important role to play in both food and nutrition security, and until now agriculture has only aimed at increasing productivity rather than focussing on a sustainable nutritional food system. Today, however, the bioavailability of micronutrients in food crops is an important factor for basic healthy nutrition (Welch and Graham, 2004) and this is a major task for farmers and agronomists working for a healthy environment.

1.Agronomic Biofortification

Fortification concept is one of the safe and effective applications in the form of direct addition to the final product to prevent vitamin and mineral deficiencies of food products (Das & et al. 2013). However, this situation leaves the majority of the world's

products inadequate for basic nutritional needs. It is therefore imperative to ensure that adequate nutrition is provided, particularly during the production phase, and that the vitamin and mineral contents of agricultural products are sufficient to meet the needs of living organisms.

The process of agronomic biofortification is achieved through the application of micronutrient fertilisers to soil or directly to the foliage of crops. Biofortification primarily focuses on starchy staple crops, including rice, wheat, maize, sorghum, millet, sweet potato and legumes, which play a significant role in global nutrition and are particularly susceptible to micronutrient deficiencies (Saltzman & et al., 2013).

Biofortification represents the most effective and sustainable approach to enriching staple food products with essential minerals, vitamins, proteins and fatty acids. In other words, it is the process of increasing the content and/or bioavailability of essential nutrients in crops by genetic and agronomic means during plant growth (Bouis & et al., 2011). The objective of biofortification is to enhance the bioavailability of micronutrients through the utilization of techniques such as plant breeding, transgenics (a distinct genetic engineering methodology) and agricultural biofortification (i.e. the deployment of micronutrient-rich fertilisers) (FAO, 2017).

The concept of genetic biofortification is based on the breeding of varieties with high mineral accumulation potential, specifically in the genetic characteristics of plants. The most significant benefit of agronomic biofortification over genetic biofortification is the lack of crop-specific requirements for fertiliser forms and application techniques. While the application rates and methods of fertilisers can

be rapidly adapted for use on different crops, genetic and transgenic biofortification methods are specific to individual crops. Consequently, the inclusion of additional crops in the biofortification profile is a time-consuming and resource-intensive process (Bhardwaj & et al., 2022). The process of transgenics and breeding is a lengthy one, whereas agronomic biofortification represents a more immediate solution to the issue of malnutrition (Augustine & Kalyanasundaram, 2020).

Due to the application rates of macro elements in the basic nutrition of plants with nutrients and their presence in soils, deficiencies of microelements, which are more affected by soil conditions, are more common in plants than nutrient deficiencies in macro elements. In this context, nutrient enrichment applications by biofortification are concentrated on microelements.

The proportions of microelements present in different plant parts vary, and they are typically absorbed from the soil. The application of microelements in conjunction with fertilisers can enhance the microelement status of the soil, as well as address potential deficiencies in plants and humans. However, the application of microelements to the soil results in immediate fixation due to the influence of diverse soil conditions, which may impede the transport of these elements to consumable plant parts. To circumvent this issue, it is advised that microelements be administered via alternative methods, such as foliar sprays in soluble form.

Agronomic biofortification factors represent a straightforward and cost-effective approach, provided that due consideration is given to specific such as fertiliser form, application method and time of

application (Bhardwaj & et al. 2022). Agronomic biofortification is a process where micronutrient-rich fertilisers are used to increase the nutritional value of crops. This approach is both straightforward and expedient, and it has the potential to enhance human nutritional status (Cakmak & Kutman, 2017). Optimal biofortification is contingent upon three essential factors: higher micronutrient uptake by the plant, enhanced transport within the plant, and increased accumulation in edible plant parts. One of the significant challenges in ensuring the provision of micronutrients by plants is their inability to synthesize (or absorb) the majority of minerals essential for human health. Additionally, the uneven distribution and concentration of these nutrients in different plant parts represents another crucial hurdle (Zhu & et al., 2007).

The biofortification of crops and the enhancement of the bioavailability of nutrients in their edible components represent potential strategies for the prevention of micronutrient deficiency. Biofortification of crops, whether agronomic or genetic, can be realised at a small additional cost, which is significantly less than the risk of hunger and malnutrition.

2. Agronomic Biofortification Techniques

Techniques applied in agronomic biofortification applications for plants to absorb nutrients are generally soil application of fertilizers containing microelements, diluted foliar application, nutripriming (seed coating) and soilless cultivation.

2.1. Soil application

The application of micronutrients to soil is a traditional technique that serves to replenish micronutrients in the soil where the plant is grown. However, the application of micronutrients to soil

is an expensive and inefficient method (Savithri & et al., 1999). Although soil application represents the most prevalent approach to microelement application in crop cultivation, it is primarily oriented towards enhancing crop productivity rather than promoting biofortification. This method has been found to result in low efficiency of microelement utilisation, as well as soil contamination over time due to the excessive accumulation of microelements that are either hardly or unable to be taken up by plants in the soil.

The studies demonstrated that biofortification rates increased by 7-28% for Zn in paddy (Joy & et al., 2015; Tariq & et al., 2007; Swarup & et al., 1981), 11-195% for Zn in wheat (Dwiedi & Sriwastva, 2014; Wang & et al., 2015), Singh & et al. (2016), and Joy & et al. (2015) observed increases of 5-8%, 27-75%, and 5-8% for Zn in sorghum and maize, respectively. The efficacy of soil Zn fertilisation in increasing Zn content in grain while simultaneously increasing crop yields has been demonstrated to be relatively limited. Furthermore, the fertiliser use efficiency of this method is low (Singh & Mann, 2007; Chattha & et al., 2017).

2.2.Nutripriming

‘Priming’ is a well-known method to increase the content of seeds. Seeds classified as coated have increased germination rates, resistance to high levels of biotic/abiotic stresses and crop yield (Rajjou & et al., 2012). Priming ensures that some of the metabolic components required for germination are formed in their particles before they occur. Seed coating is widely used to provide the time between seed sowing and seedling emergence and to ensure emergence (Parera & Cantliffe, 1994). The process of soaking seeds

in a nutrient solution prior to planting them in the soil is referred to as nutripriming (Raj & Raj, 2019).

Nutri-priming represents the latest priming method, whereby plant growth regulators and micro- or macronutrients are employed. In the case of nutrient coating, seeds are coated in nutrient solutions (Farooq & et al., 2012), which combines the biochemical effect of a water-element coating with the nutritional effect of the applied element. A number of studies have demonstrated that the germination rate and the concentration of nutrients in seeds coated with a nutrient solution using the nutri-priming technique (Pereira & et al., 2022; Saranya & et al., 2017; Ruttanaruangboworn & et al., 2017) are increased in comparison to uncoated seeds.

2.3. Soilless culture

Soilless production is a newer production method that uses organic, inorganic or liquid growing media with inert organic, inorganic or liquid growing media of the desired distribution and nutrient regime. Different soilless systems, including hydroponics, aeroponics, substrate, vertical farming and others, have a place in human nutrition, especially in crops where micronutrient options are supported through micronutrient-rich media (Rouphael & Kyriacou, 2018). The continuous contact of roots with the fertiliser solution has been demonstrated to increase the absorption, transport and accumulation of nutrients, thereby ensuring consistent results in terms of nutrient quality (Wiesner-Reinhold & et al., 2017; Rouphael & Kyriacou, 2018).

In soilless cultivation, which provides optimal root development, plants benefit from nutrients at a higher level, and the nutrient elements provided by healthy roots maximise efficiency. In

particular, products with optimal nutrient sufficiency can be obtained due to the absence of factors limiting microelement uptake in soilless cultivation. The research findings indicate that soilless cultivation significantly enhances the concentration of microelements in produced goods. This underscores the pivotal role of soilless cultivation in the context of biofortification (D'Imperio & et al. 2022; Buturi & et al. 2022; Giordano & et al. 2019).

2.4.Foliar application

Soil nutrient application is the most common method of providing essential nutrients to plants, and nutrients applied to the soil are absorbed by plant roots. However, higher plants can also absorb mineral nutrients when applied as foliar sprays at appropriate concentrations, and foliar application is the most effective method for correcting malnutrition. For instance, iron deficiency in calcareous soils can be rectified more effectively through foliar application of iron-containing fertilisers than through soil application (Girma & et al., 2007).

Foliar fertilisation permits the expedited utilisation of nutrients and enables the rectification of observed deficiencies in a shorter timeframe than is required by soil application. Nutrients applied to the soil exert a long-term influence on plant growth, whereas the plant response to foliar application is typically transient. In such instances, the number of foliar applications should be increased in cases of severe nutrient deficiency. In particular, foliar application is regarded as the most efficacious method for microelements. For certain nutrient elements with restricted mobility in soils, foliar application is more effective and economical than soil application. During the early growth stage when plant roots are not yet fully

developed, foliar fertilisation is more advantageous in terms of absorption than soil application (Fageria & et al. 2009).

3. Microelements used in agronomic biofortification

Agronomic biofortification can have direct or indirect effects on crops. The direct effect of agronomic biofortification is to increase the concentration of microelements in plant tissues, while the indirect effect is to affect plant growth. Targeting microelements to edible plant parts such as seeds or fruits is not always possible and can sometimes result in the accumulation of desired nutrients in leaves or other inedible plant parts; therefore, this technique is only successful for certain minerals and certain plant species (Çakmak & et al. 1999). Six microelements (iron, zinc, iodine, selenium and silicon), which are particularly beneficial for human health, are prominent in biofortification applications (Consentino & et al. 2023, Lyons & et al., 2008).

3.1.Iron (Fe)

Iron, an essential nutrient for humans, plants and animals to maintain their vital activities, is found as a structural element in the crystal lattices of various minerals in the soil (Özbek & et al., 2001). While iron acts as a catalyst in the synthesis of chlorophyll in plants, it also accelerates enzymatic events (catalase, peroxidase, cytochrome oxidase) (Aktaş, 1995). Plants are in constant need of iron in the environment in which they grow. Since iron cannot be transported from old leaves to young leaves, the plant can meet the iron needs of the growth organs by continuous iron intake. In the root zone, iron can be found in the soil as Fe^{+2} and Fe^{+3} and in the form of organic compounds or chelates. Fe^{+2} is used in plant metabolism. Even if iron is taken up by the plant in different forms, it is converted

to Fe^{+2} in the metabolism and used by the plant (Kacar & Katkat 2007). Studies on iron biofortification in plants show that the effects of foliar applications are high.

Phytosiderophores have the potential to regulate Fe stress in cereals and to promote microelement uptake, especially Fe, in plants (Römheld & Marschner 1986). In plants, several cellular processes such as chloroplast development, oxygen transport, chlorophyll biosynthesis and mitochondrial function are determined by iron, and iron is active in chloroplast and mitochondrial functions (Bashir & et al. 2011). In addition, iron deficiency induces oxidative stress conditions (Tewari & et al. 2005). Many microorganisms secrete siderophores to compensate for Fe deficiency in the soil (Schalk & et al. 2011), and these siderophores bind to Fe^{3+} in the soil to form siderophore- Fe^{3+} complexes to increase Fe availability (Saha & et al. 2012). Microbial activity increases plant Fe uptake, and siderophores in the rhizosphere dissolve Fe hydroxides (Desai & Archana 2011; Hayat & et al. 2012).

Foliar application of Fe-containing solutions may be the main fertilisation practice, as soil application of the Fe source is less effective in increasing grain Fe concentration (Rengel & et al., 1999, Fernandez & et al., 2004; Ibrahim & et al., 2004). The combined application of foliar Fe-containing amino acid (Fe-AA) and ferrous sulphate fertiliser significantly improved Fe concentration in 13 different rice cultivars, and the average Fe concentration of all cultivars tested increased by 14.5% when the treatments were compared with the control (Yuan & et al. 2013). Açıksöz & et al. (2011) reported that the addition of urea to foliar Fe fertilisers had a positive effect on grain Fe concentration in wheat.

Foliar application of Fe(II)-AA and B combination increased Fe concentration in rice grain by 18.9% compared to the control (Jin & et al. 2008). Narwal & et al. (2012) reported that foliar application of Zn, Fe and Mn improved the levels of these nutrients in 14 winter wheat cultivars. Co-application of Zn and Fe increased grain Zn, Fe, crude cellulose and protein content, while application of Fe fertiliser alone improved grain Fe content (Niyigaba & et al., 2019). Wei & et al. (2012) showed that foliar application of FeSO₄, nicotinamine (NA) with FeSO₄ and ZnSO₄ with NA increased grain Fe concentration in rice by 16.97%, 29.9% and 27.08%, respectively.

3.2.Zinc (Zn)

Zinc plays an important role in maintaining cell integrity and the immune system, and its deficiency is mostly caused by low dietary intake and inadequate consumption of cereals. Zinc interacts with numerous enzymes and other proteins in the human body and plays critical structural, functional and regulatory roles. It is estimated that approximately 10% of all proteins in the human body are zinc dependent (Andreini & et al., 2006; Krezel & Maret, 2016).

Zinc deficiency can cause a wide range of physiological problems, including growth retardation, problems with brain development, susceptibility to infectious diseases such as pneumonia and diarrhoea, poor physical performance and low birth rates (Black & et al., 2008; Gibson, 2012; Krebs & et al., 2014; Terrin & et al., 2015). Approximately half a million children under the age of five are reported to die each year from causes related to Zn deficiency (Black & et al., 2008; Krebs & et al., 2014). Vitamin A, zinc, iron and iodine deficiencies cause the death of about 20 per cent of children under five (Prentice & et al., 2008).

While zinc levels in plants normally range from 5-100 mg kg⁻¹, toxicity usually occurs above 400 mg kg⁻¹ (Özbek & et al., 1995). Zinc plays a role in the structure and activation of many enzymes in plants. Zinc, which is an important element in the synthesis of tryptophan, an important component of some proteins, is also active in the synthesis of IAA, a growth hormone (Rout & Das, 2003).

Zinc is effective in carbohydrate, protein and auxin metabolism and improves membrane quality (Kacar & Katkat, 2007). Between 65% and 85% of the total phosphorus in cereal is present as phytate, an important compound that binds zinc and makes it poorly bioavailable in the human digestive tract. The phytate-Zn molar ratio is a widely used measure to estimate the bioavailability of zinc in diets (Morris & Ellis, 1989; Gibson, 2006). Erdal & et al. (2002) reported that increasing the amount of zinc in seeds (zinc fertilisation) reduces phytate content and the phytate:zinc ratio. In this case, increasing the zinc concentration in the seed also increases the bioavailability of zinc. In general, foliar application of Zn is effective in the late growth stage.

Soil and foliar applications have been found to increase Zn content in whole grains (Yılmaz & et al., 1997; Çakmak, 2008). Hassan & et al. (2019) made three applications as soil (10 kg ZnSO₄ ha⁻¹), foliar (0.5% ZnSO₄) and seed treatment (0.3 M ZnSO₄) to increase productivity and grain biofortification of bread wheat, and the increase in grain Zn concentration was realised as foliar application (70%), soil application (39%) and seed pretreatment (15%). Irmak & et al. (2016) reported that soil and foliar Zn applications were significantly effective in increasing the amount of Zn in grain in peanut. Han & et al. (2024) reported that foliar applications of amino acids and Zn were effective in increasing the

amount of Zn in grain in soybean. Singh & et al. (2014) found that the amount of Zn in maize grain increased with 20 kg N ha⁻¹ and 5 kg Zn ha⁻¹ applications.

3.3.Iodine (I)

Iodine is an essential trace element for both humans and animals and is required by the thyroid gland for the production of important hormones. Generally, soils are limited in iodine sufficiency and insufficient to produce agricultural crops with sufficient iodine content to meet the recommended daily intake (Duborska & et al., 2020). Iodine intake is through dietary intake and a daily intake of 90-250 mg is recommended (Zimmerman & Andersson, 2012).

Iodine deficiency symptoms affect all age groups and may lead to increased pregnancy loss, infant mortality, growth impairment, and cognitive and neuropsychological deficits (Zimmerman & et al., 2008). Plants can take up iodine from soil (Ren & et al., 2008, Kiferle & et al., 2013, Lawson & et al., 2015), but the behaviour of iodine in the soil-plant system is highly complex due to the large number of factors involved (Fuge & Johnson, 2005, Medrano-Maci'as & et al., 2016). Iodine in soil can be present in inorganic [iodide (I⁻) and iodate (IO₃⁻) ions] and organic forms. Soil composition, pH and redox conditions control the speciation and mobility of iodine in the soil and thus influence its uptake by roots. Iodine deficiency is a common micronutrient malnutrition problem, and the addition of iodine to table salt is the most common tool to prevent iodine deficiency (Gonzali & et al., 2017).

In general, iodine is toxic to plants but can be beneficial at low concentrations (Umaly & et al., 1970; Duborská & et al., 2017). The

most effective method is foliar application of iodine to leafy vegetables (Tonacchera & et al., 2013). Research has shown that tomato is a suitable target crop for iodine biofortification and can accumulate up to 10 mg iodine per kg fresh weight (Kiferle & et al., 2013). Foliar iodine applications have shown that xylemetic transport is much more efficient than phloemic transport, suggesting that accumulation in fruits, tubers or seeds will not be high (Medrano-Maci'as & et al., 2016; Caffagni & et al., 2012; Lawson & et al., 2015; Blasco & et al., 2008). Therefore leafy vegetables would be ideal candidates for biofortification. Çakmak & et al. (2017) reported that foliar application of iodine to wheat increased the amount of iodine in the grain by 5-10 times.

3.4.Selenium

The amount of Se varies in soils and depends on various factors such as soil type, organic matter, pH, redox potential, cation exchange capacity and S, Fe, Al and C levels and precipitation (Sors & et al., 2005; Ylaranta, 1983; Combs, 2001; Li & et al., 2008; Lin, 2008). The effects of selenium on human health are at levels that should be considered important.

Selenium is known as an element with anti-viral effect (Beck & et al., 1995; Baum & et al., 1997; Yu & et al., 1997; Yu & et al., 1997; Yu & et al., 1999) as well as having cancer prevention capacity (Clark & et al., 1996; Yu & et al., 1997). In a study by Combs (2001), Se deficiency, which is estimated to affect more than one billion people in the world, is seen as a major public health problem (Lyons & et al., 2003). Selenium, which has effects such as reducing cancer risk and strengthening the immune system, is also a powerful

antioxidant. It helps to protect cardiovascular health by increasing tissue elasticity and supporting heart cells.

Selenium plays an important role in reproductive health by helping to increase sperm production and vitality. It reduces the negative effects of harmful substances in the body and helps to eliminate them from the body. It also has a positive effect on liver function. The daily requirement of selenium is 47 µg for men and 38 µg for women (Samur, 2006). Selenium-fortified products are considered ideal for increasing dietary selenium intake (Dumont & et al., 2006). Selenium has been recognised as an essential micronutrient following its discovery as an important component of the enzyme glutathione peroxidase (El-Ramady & et al., 2020; Rotruck & et al., 1973). At appropriate levels, selenium has several beneficial effects in plants, influencing seed germination and plant growth (Xue & et al., 2001). Selenium acts as an antioxidant and helps to defend against biotic and abiotic stresses (Schiavon & Pilon-Smits, 2017). It inhibits lipid peroxidation and increases glutathione peroxidase activity, which delays ageing and minimises post-harvest losses (Cartes & et al., 2005).

Foliar Se fertilisation is up to 8 times more effective than soil Se supplementation (Ros & et al., 2016). This is probably due to faster Se uptake and assimilation processes, no need for root-to-shoot translocation of Se to the edible parts of the crop, and prevention of Se losses due to immobilisation of Se compounds in the soil (Ramkissoon & et al., 2019). Seppanen & et al. (2010) to increase Se content in canola, selenium application did not affect yield or oil content, but high Se accumulation (1.92-1.96 µg Se g⁻¹) was detected in seed and flesh. Oliviera & et al. (2018) investigated Se biofortification in carrot and Se accumulation in roots, foliar

selenate application increased yield and titratable acidity but decreased root ripening index, and foliar selenite application increased shoot Se content and root carotenoid content. Ngigi & et al. (2019) on Se biofortification in beans and maize, Se concentration increased by an average of $3 \mu\text{g kg}^{-1}$ in maize and $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ in beans for each gram of Se applied with soil and foliar Se applications.

Foliar application of Se was more effective than soil application and increased Se concentration in grain by $18 \mu\text{g kg}^{-1}$ in maize and $67 \mu\text{g kg}^{-1}$ in beans. Reis & et al. (2020) in the biofortification of paddy genotypes with Se, selenium concentrations in leaves and grains increased linearly with Se application rates, and a highly significant correlation was observed between Se rates and Se concentration in leaves and grains. Nayan & et al. (2020) identified selenium application as selenate solution at a rate of 120 g ha^{-1} on day 14 with optimum Se accumulation in leaves ($21.16\text{-}22.38 \mu\text{g } 10 \text{ plant}^{-1}$) and stems ($5.89\text{-}5.98 \mu\text{g } 10 \text{ plant}^{-1}$) in spinach in greenhouse as an effective Se fertilisation management strategy for spinach production.

3.5. Silicon

Silicon is the most abundant element in the lithosphere after oxygen. It is also present in the structure of many primary and secondary minerals in the soil, but the solubility of siliceous minerals is generally very low (Aktaş, 1995). Silicon is considered an essential element for humans, playing a fundamental role in bone metabolism, nervous and immune system function, cell proliferation and alkaline phosphatase activity, and muscle and cartilage metabolism (Arora & Arora 2017; Huang & et al., 2020; Carlisle 1970; Brady & et al., 1991; Reffitt & et al., 2003).

Plants take up silicon in the form of monosilicic acid $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ from roots and H_3SiO_4^- ions by exchange with OH^- and HCO_3^- ions in high pH environments (Turan & Horuz, 2012). Silicon is transported in the xylem conducting vessels to the required organs of the plant depending on the transpiration rate. The silicon content of the aerial organs of the plant depends on the transit status of the sap transported by transpiration and the age of the organ. Silicon has been found to increase cell wall strength, durability and flexibility during plant growth (Kacar & Katkat, 2007).

According to López-Pérez & et al. (2018), plants can contain different amounts of Si in different organs in terms of their ability to accumulate Si (5 to 50 g kg⁻¹ DW). Species with low mobilisation capacity accumulate Si in roots and stems, whereas species with high mobilisation capacity accumulate Si in stems, leaves, fruits and seeds. Si can be supplied by foliar application and is absorbed through cuticular pathways, stomata and trichomes (Puppe & Sommer, 2018). D'Imperio & et al. (2016) reported that Si application in the range of 50-100 mg L⁻¹ in nutrient solution contributed to Si biofortification of leafy vegetables. While Si did not affect vegetable yield and colour, it increased Si content in leafy vegetables in the range of 18-69 mg kg⁻¹ (FW) in tatsoi, 19-106 mg kg⁻¹ FW in mizuna, 15-93 mg kg⁻¹ FW in purslane, 41-294 mg kg⁻¹ FW in basil, 17-76 mg kg⁻¹ FW in chard and 23-76 mg kg⁻¹ FW in chicory. Lata-Tenesaca & et al. (2022) found that leaf and root application of Si in quinoa plants enhanced its uptake by the plant, resulting in increased efficiency of N and P use. Leaf and root application of Si resulted in the highest Si concentration and ascorbic acid content in quinoa grains.

Conclusion

Enriching the edible parts of agricultural crops with nutrients through biofortification is a cost-effective and practical agricultural strategy to improve the nutritional status of undernourished people. Despite the effectiveness of transgenic methods, the cultivation of fortified crops through agronomic methods is more preferable when evaluated in terms of product diversity, ecological characteristics, cost-effectiveness and practicality.

Biofortification applications are focused on the most consumed products in different regions and are evolving to examine the levels of microelements in products. In this way, it is possible to prevent the hidden starvation of living beings who are not aware of it but are exposed to nutrient deficiencies despite the consumption of food. In this context, it is of great importance to carry out nutrient enrichment applications with soil or foliar applications, especially with regard to the products most consumed by society.

References

Aktaş, M. (1995). Bitki Besleme ve Toprak Verimliliği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları:1429, Ankara.

Açıksöz, S.B., Yazıcı, A., Öztürk, L. & Çakmak, İ. (2011). Biofortification of wheat with iron through soil and foliar application of nitrogen and iron fertilizers. *Plant and Soil*, 349, 215–225. Doi:10.1007/s11104-011-0863-2

Andreini, C., Banci, L. & Rosato, A. (2006). Zinc through the three domains of life. *Journal of Proteome Research*, 5, 3173–3178.

Arora, M. & Arora, E. (2017). The promise of silicon: Bone regeneration and increased bone density. *Journal of Arthroscopy and Joint Surgery*, 4, 103–105. Doi: 10.1016/j.jajs.2017.10.003.

Augustine, R. & Kalyanasundaram, D. (2020). Agronomic Biofortification of Food Crops with Micronutrients. *Plant Archives* 20 (2), 1383-1387.

Baum, M.K., Shor-Posner, G. & Lai, S. (1997). High risk of HIV- related mortality is associated with selenium deficiency, *Journal of Acquired Immune Deficiency Syndromes*, 15, 370–374.

Bashir, K., Ishimaru, Y. & Nishizawa, N.K. (2011). Identification and characterization of the major mitochondrial Fe transporter in rice. *Plant Signaling & Behavior*, 6 (10), 1591–3. Doi: 10.4161/psb.6.10.17132.

Beck, M.A., Shi, Q., Morris, V.C. & Levander, O.A. (1995). Rapid genomic evolution of a non-virulent Coxsackievirus B3 in selenium-deficient mice results in selection of identical virulent isolates. *Nature Medicine*, 1: 433–436. Doi: 10.1038/nm0595-433

Bhardwaj, A.K., Chejara, S., Malik, K., Kumar, R., Kumar, A. & Yadav, R.K. (2022). Agronomic biofortification of food crops: An emerging opportunity for global food and nutritional security. *Frontiers in Plant Science*. 13, 1055278. Doi:10.3389/fpls.2022.1055278

Black, R.E., Lindsay, H.A., Bhutta, Z.A., Caulfield, L.E., de Onnis, M., Ezzati, M., Mathers, C. & Rivera, J. (2008). Maternal and child undernutrition: global and regional exposures and health consequences. *Lancet*, 371, 243–260.

Blasco, B., Rios, L., Cervilla, J., Sanchez-Rodriguez, J., Romero, R. & Romero, L. (2008). Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Annals of Applied Biology*, 152, 289-299. Doi: 10.1111/j.1744-7348.2008.00217.x

Bouis, H.E., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J.V. & Pfeiffer, W.H. (2011). Biofortification: a new tool to reduce micronutrient malnutrition. *Food and Nutrition Bulletin*, 32(1), 31-40. Doi:10.1177/15648265110321S105

Brady, M.C., Dobson, P.R.M., Thavarajah, M. & Kanis, J.A. (1991). Zeolite A stimulates proliferation and protein synthesis in human osteoblast-like cells and osteosarcomacell lineMG-63. *Journal of Bone and Mineral Research*, 6, 139.

Buturi, C.V., Coelho, S.R.M., Cannata, C., Basile, F., Giuffrida, F., Leonardi, C. & Mauro, R.P. (2022). Iron Biofortification of Greenhouse Cherry Tomatoes Grown in a Soilless System. *Horticulturae*, 8, 858. Doi:10.3390/horticulturae8100858

Caffagni, A., Arru, L., Meriggi, P., Milc, J., Perata, P. & Pecchioni, N. (2011). Iodine fortification plant screening process and accumulation in tomato fruits and potato tubers. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 42, 706-718. Doi: 10.1080/00103624.2011.550372

Carlisle, E. M. (1970). Silicon: a possible factor in bone calcification. *Science*, 167 (3916):279–80. doi:10.1126/science.167.3916.279.

Cartes, P., Gianfreda, L. & Mora, M.L. (2005). Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. *Plant and Soil*, 276, 359–367. Doi: 10.1007/s11104-005-5691-9

Chattha, M. U., Hassan, M. U., Khan, I., Chattha, M. B., Mahmood, A., Chattha, M.U., Nawaz, M., Subhani, M.N., Kharal, M. & Khan, S. (2017). Biofortification of wheat cultivars to combat zinc deficiency. *Frontiers in Plant Science*, 8, 281. DOI: 10.3389/fpls.2017.00281

Clark, L.C., Combs, G.F., Turnbull, B.W., Slate, E.H., Chalker, D.K., Chow, J., Davis, L.S., Glover, R.A., Graham, G.F., Gross, E.G., Krongrad, A, Leshner, J.L., Park, H.K., Sanders, B.B., Smith, C.L. & Taylor, J.R. (1996). Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin. *Journal of the American Medical Association*, 276, 1957–1963.

Combs, G.F. (2001). Selenium in global food systems, *British Journal of Nutrition*, 85, 517–547. Doi: 10.1079/bjn2000280

Consentino, B.B., Ciriello, M., Sabatino, L., Vultaggio, L., Baldassano, S., Vasto, S., Roupael, Y., La Bella, S. & De Pascale, S. (2023). Current Acquaintance on Agronomic Biofortification to Modulate the Yield and Functional Value of Vegetable Crops: A Review. *Horticulturae*, 9, 219. Doi:10.3390/horticulturae9020219

Çakmak, I., Kalaycı, M., Ekiz, H., Braun, H.J., Kılınç, Y. & Yılmaz, A. (1999). Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: a NATO-science for stability project. *Field Crops Research*, 60, 175–88. doi:10.1016/S0378-4290(98)00139-7

Çakmak, I. (2008). Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? *Plant and Soil*, 302, 1-17. Doi: 10.1007/s11104-007-9466-3

Çakmak, I., and Kutman, U.B. (2017). Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. *European Journal of Soil Science*, 69 (1), 172–180. Doi: 10.1111/ejss.12437

Çakmak, I., Prom-u-thai, C., Guilherme, L.R.G., Rashid, A., Hora, K.H., Yazici, A., Savasli, E., Kalayci, M., Tutus, Y., Phuphong, P., Rizwan, M., Martins, F.A.D., Dinali, G.S., Ozturk, L. (2017). Iodine biofortification of wheat, rice and maize through fertilizer strategy. *Plant and Soil*, 418, 319–335. Doi: 10.1007/s11104-017-3295-9

Das, J.K., Kumar, R., Salam, R.A., Bhutta, Z.A. (2013). Systematic Review of Zinc Fortification Trials. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 62 (1), 44–56. Doi: 10.1159/000348262

Desai, A. & Archana, G. (2011). Role of siderophores in crop improvement. In *Bacteria in agrobiolgy: Plant nutrient*

management, by D. Maheshwari, 109–39. Berlin, Heidelberg: Springer. Doi: 10.1007/978-3-642-21061-7-6.

D’Imperio, M., Renna, M., Cardinali, A., Buttarò, D., Santamaria, P., Serio, F. (2016). Silicon biofortification of leafy vegetables and its bioaccessibility in the edible parts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96, 751–756. Doi: 10.1002/jsfa.7142

D’Imperio, M., Durante, M., Gonnella, M. Renna, M., Montesano, F.F., Parente, A., Mita, G., Serio, F. (2022). Enhancing the nutritional value of *Portulaca oleracea* L. by using soilless agronomic biofortification with zinc. *Food Research International* 155, 111057. Doi:10.1016/j.foodres.2022.111057

Duborská, E., Urik, M., Šeda, M. (2020). Iodine Biofortification of Vegetables Could Improve Iodine Supplementation Status. *Agronomy*, 10, 1574; Doi:10.3390/agronomy10101574

Dumont, E., Vanhaecke, F., Cornelis, R. (2006). Selenium speciation from food source to metabolites: A critical review. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 385, 1304-1323. Doi: 10.1007/s00216-006-0529-8

Dwivedi, R. & Srivastva, P.C. (2014). Effect of zinc sulphate application and the cyclic incorporation of cereal straw on yields, the tissue concentration and uptake of Zn by crops and availability of Zn in soil under rice–wheat rotation. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3 (2), 1–12. Doi: 10.1007/s40093-014-0053-3

El-Ramady, H., Faizy, S.E.D, Abdalla, N., Taha, H., Domokos-Szabolcsy, É., Fari M., Elsakhawy, T., Omara, A.E.D, Shalaby, T., Bayoumi, Y., Shehata, S., Geilfus, C.M. & Brevik, E.C. (2020). Selenium and Nano-Selenium Biofortification for Human Health: Opportunities and Challenges. *Soil Systems* 4, 57. Doi: 10.3390/soilsystems4030057

Erdal, I., Yilmaz, A., Taban, S., Eker, S., Cakmak, I. (2002). Phytic acid and phosphorus concentrations in seeds of wheat cultivars grown with and without zinc fertilization. *Journal of Plant Nutrition*, 25, 113–127. Doi: 10.1081/PLN-100108784

Fageria, N.K., Filho, M.P.B., Moreira, A. & Guimaraes, C.M. (2009). Foliar Fertilization of Crop Plants. *Journal of Plant Nutrition*, 32, 1044–1064. Doi:10.1080/01904160902872826

FAO (2017). Nutrient-sensitive agriculture and food systems in practice. In: Food and agriculture organization of the United Nations (Rome). Available at: https://www.researchgate.net/publication/354582085_Nutrition-sensitive_agriculture_and_food_systems_in_practice_options_for_intervention (Accessed Dec 20, 2024).

Farooq, M., Wahid, A. & Siddique, K.H.M., (2012). Micronutrient application through seed treatments – a review. *Journal of soil science and plant nutrition* 12, 125–142. Doi: 10.4067/S0718-95162012000100011

Fernandez, V., Winkelmann, G. & Ebert, G. (2004). Iron supply to tobacco plants through foliar application of iron citrate and ferric dimerum acid. *Physiologia Plantarum* 122, 380–385. Doi: 10.1111/j.1399-3054.2004.00405.x

Gibson, R.S. (2006). Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65, 51–60. Doi: 10.1079/pns2005474

Gibson, R.S. (2012). Zinc deficiency and human health: etiology, health consequences, and future solutions. *Plant and Soil*, 361, 291–299. Doi: 10.1007/s11104-012-1209-4

Giordano, M., El-Nakhel, C., Pannico, A., Kyriacou, M.C., Stazi, R., De Pascale, S. & Roupael, Y. (2019). Iron Biofortification of Red and Green Pigmented Lettuce in Closed Soilless Cultivation Impacts Crop Performance and Modulates Mineral and Bioactive Composition. *Agronomy*, 9, 290, Doi:10.3390/agronomy9060290

Girma, K., Martin, K.L., Freeman, K.W., Mosali, J., Teal, R.K., Raun, W.R., Moges, S.M. & Arnall, D.B. (2007). Determination of optimum rate and growth for foliar applied phosphorus in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 38, 1137–1154. Doi: 10.1080/00103620701328016

Gonzali, S., Kiferle, C. & Perata, P. (2017). Iodine biofortification of crops: agronomic biofortification, metabolic engineering and iodine bioavailability. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 16–26. Doi: 10.1016/j.copbio.2016.10.004

Han, S., Sönmez, I., Qureshi, M., Güden, B., Gangurde, S.S. & Yol, E. (2024). The effects of foliar amino acid and Zn applications on agronomic traits and Zn biofortification in soybean (*Glycine max* L.). *Frontiers in Plant Science*, 15, 1382397. Doi: 10.3389/fpls.2024.1382397

Hassan, M.U., Chattha, M.U., Ullah, A., Khan, I., Qadeer, A., Aamer, M., Khan, A.U., Nadeem, F. & Khan, T.A. (2019).

Agronomic Biofortification to Improve Productivity and Grain Zn Concentration of Bread Wheat. *International Journal of Agriculture & Biology*, 21, (3), 615-620. Doi: 10.17957/IJAB/15.0936

Hayat, R., Ahmed, I. & Sheirdil, R.A. (2012). An overview of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) for sustainable agriculture. In Crop production for agricultural improvement, by M. Ashraf, M. Öztürk, M. Ahmad, M. Aksoy, 557–79. Dordrecht: Springer. Doi: 10.1007/978-94-007-4116-4-22.

Huang, S., Wang, P., Yamaji, N. & Ma, J.F. (2020). Plant nutrition for human nutrition: Hints from rice research and future perspectives. *Molecular Plant*, 13, 825–835. Doi:10.1016/j.molp.2020.05.007.

Irmak, S., Cil, A.N., Yücel, H. & Kaya, Z. (2016). Effects of Zinc Application on Yield and Some Yield Components in Peanut (*Arachis hypogaea*) in the Eastern Mediterranean Region. *Journal of Agricultural Sciences*, 22, 109-116. Doi: 10.1501/Tarimbil_0000001373

Ibrahim, E., Kahraman, K. & Ilhan, K. (2004). Effect of foliar iron applications at different growth stages on iron and other nutrient concentrations in strawberry cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 28, 421–427.

Jin, Z., Minyan, W., Lianghuan, W., Jiangguo, W. & Chunhai, S. (2008). Impacts of Combination of Foliar Iron and Boron Application on Iron Biofortification and Nutritional Quality of Rice Grain. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 1599–1611. Doi: 10.1080/01904160802244803

Joy, E.J.M., Stein, A.J., Young, S.D., Ander, E.L., Watts, M. J. & Broadley, M.R. (2015). Zinc-enriched fertilizers as a potential public health intervention in Africa. *Plant and Soil*, 389, 1–24. Doi: 10.1007/s11104-015-2430-8.

Kacar, B., Katkat, V. (2007). Bitki Besleme. Nobel Yayınları, ISBN:978-975-591-834-1, Ankara, Türkiye.

Kiferle, C., Gonzali, S., Holwerda, H.T., Ibaceta, R.R. & Perata, P. (2013). Tomato fruits: a good target for iodine biofortification. *Frontiers in Plant Science*, 4, 205. Doi: 10.3389/fpls.2013.00205

Krebs, N.F., Miller, L.V. & Hambridge, K.M. (2014). Zinc deficiency in infants and children: a review of its complex and synergistic interactions. *Paediatrics & International Child Health*, 34, 279–288. Doi: 10.1179/2046905514Y.00000000151

Krezel, A. & Maret, W. (2016). The biological inorganic chemistry of zinc ions. *Archives of Biochemistry & Biophysics*, 611, 3–19. Doi: 10.1016/j.abb.2016.04.010

Lata-Tenesaca, L.F., de Mello Prado, R., de Cássia Piccolo, M., da Silva, D.L., da Silva, J.L.F. & Ajila-Celi, G.E. (2022). Forms of application of silicon in quinoa and benefits involved in the association between productivity with grain biofortification. *Scientific Reports*, 12, 12732 <https://doi.org/10.1038/s41598-022-17181-4>.

Lawson, P.G., Daum, D., Czauderna, R., Meuser, H. & Hartling, J.W. (2015). Soil versus foliar iodine fertilization as a biofortification strategy for field-grown vegetables. *Frontiers in Plant Science*, 6, 450. Doi:10.3389/fpls.2015.00450.

Li, H.F., McGrath, S.P. & Zhao, F.J. (2008). Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. *New Phytologist*, 178, 92-102. Doi: 10.1111/j.1469-8137.2007.02343.x

Lin, Z.Q. (2008). Uptake and accumulation of selenium in plants in relation to chemical speciation and biotransformation. In G. Banuelos and Z-Q Lin (eds.). Development and uses of biofortified agricultural products. pp 45-56. Boca Raton, USA: CRC Press.

López-Pérez, M.C., Pérez-Labrada, F., Ramírez-Pérez, L.J., Juárez-Maldonado, A., Morales-Díaz, A.B., González-Morales, S., García-Dávila, L.R., García-Mata, J., Benavides-Mendoza, A. (2018). Dynamic modeling of silicon bioavailability, uptake, transport, and accumulation: Applicability in improving the nutritional quality of tomato. *Frontiers in Plant Science*, 9, 647. Doi:10.3389/fpls.2018.00647

Lyons, G., James, S. & Robin, G. (2003). High-Selenium Wheat: Biofortification for Better Health, *Nutrition Research Reviews*, 16 (1), 45–60. Doi: 10.1079/NRR200255

Lyons, G.H., Genc, Y. & Graham, R.D. (2008). Biofortification in the food chain, and use of selenium and phyto-compounds in risk reduction and control of prostate cancer. In G. Banuelos and Z-Q Lin (eds.). Development and uses of biofortified agricultural products., pp 17-44. Boca Raton, USA: CRC Press.

Morris, E.R. & Ellis, R. (1989). Usefulness of the dietary phytic acid/zinc molar ratio as an index of zinc bioavailability to rats and humans. *Biological Trace Element Research*, 19, 107–117. Doi: 10.1007/BF02925452

Narwal, R.P., Dahiya, R.R., Malik, R.S. & Kala, R. (2012). Influence of genetic variability on zinc, iron and manganese responses in wheat. *Journal of Geochemical Exploration*, 121, 45–48. Doi: 10.1016/j.gexplo.2012.06.006

Nayan, D.S., Zainol, R., Sukor, A.S.A., Yusoff, M.M. & Ishak, C.F. (2020). Selenium biofortification of green spinach with optimum phosphorus fertilization and selenium application timing. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 3, 1-16. Doi: 10.1002/agg2.20089

Ngigi, P.B., Lachat, C., Masinde, P.W., Laing, G.D. (2019). Agronomic biofortification of maize and beans in Kenya through selenium fertilization. *Environmental Geochemistry and Health*, 41, 2577–2591. Doi: 10.1007/s10653-019-00309-3

Niyigaba, E., Twizerimana, A., Mugenzi, I., Ngnadong, W. A., Ye, Y.P., Wu, B.M., Hai, J.B. (2019). Winter wheat grain quality, zinc and iron concentration are affected by a combined foliar spray of zinc and iron fertilizers. *Agronomy*, 9 (5), 250. Doi: 10.3390/agronomy9050250

Oliveira, V.C.D., Faquin, V., Guimarães, K.C., Andrade, F.R., Pereira, J. & Guilherme, L.R.G. (2018). Agronomic biofortification of carrot with selenium. *Ciência e Agrotecnologia* 42, 138-147. Doi: 10.1590/1413-70542018422031217

Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M. & Kaptan, H. (2001). Toprak Bilimi. 5. Baskı, ÇÜ Ziraat Fakültesi Genel Yayın No 73, Ders Kitapları Yayın No A–16, Adana.

Parera, A.C. & Cantliffe, D.J. (1994). Pre-sowing seed priming. *Horticultural Reviews*, 16109-148. Doi: 10.1002/9780470650561.ch4

Pereira, E.G., de Lima, B.R., Medeiros, L.R.A., Ribeiro, S.A., Bucher, C.A., Santos, L.A., Fernandes, M.S. & Rossetto, C.A.V. (2022). Nutripriming with ammonium nitrate improves emergence and root architecture and promotes an increase in nitrogen content in upland rice seedlings. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 42, 102331. Doi:10.1016/j.bcab.2022.102331

Prentice, A. M., Gershwin, M. E., Schaible, U. E., Keusch, G. T., Victoria, L. G. & Gordon, J. I. (2008). New challenges in studying nutrition disease interactions in the developing world. *Journal of Clinical Investigation*, 118, 1322–1329. Doi: 10.1172/JCI34034

Puppe, D. & Sommer, M. (2018). Experiments, uptake mechanisms, and functioning of silicon foliar fertilization—A review focusing on maize, rice, and wheat. *Advances in Agronomy*, 152, 1–49. Doi: 10.1016/bs.agron.2018.07.003

Raj, A.B. & Raj, S.K. (2019). Seed priming: An approach towards agricultural sustainability. *Journal of Applied and Natural Science*, 11, 227–234. Doi: 10.31018/jans.v11i1.2010

Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C., Job, D. (2012). Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology*, 63, 507–533. Doi: 10.1146/annurev-arplant-042811-105550

Ramkisson, C., Degryse, F., Da Silva, R.C., Baird, R., Young, S.D., Bailey, E.H. & McLaughlin, M.J. (2019). Improving

the efficacy of selenium fertilizers for wheat biofortification. *Scientific Reports*, 9 (1), 19520. Doi:10.1038/s41598-019-55914-0

Reffitt, D.M., Ogston, N., Jugdaohsingh, R., Cheung, H.F., Evans, B.A., Thompson, R.P.H., Powell, J.J. & Hampson, G.N. (2003). Orthosilicic acid stimulates collagen type I synthesis and osteoblastic differentiation in human osteoblast-like cells in vitro. *Bone*, 32, 127–135. Doi: 10.1016/s8756-3282(02)00950-x

Reis, H.P.G., Barcelos, J.P.Q., Silva, V.M., Santos, E.F., Tavanti, R.F.R., Putti, F.F., Young, S.D., Broadley, M.R., White, P.J. & dos Reis, A.R. (2020). Agronomic biofortification with selenium impacts storage proteins in grains of upland rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*; 100, 1990–1997. Doi: 10.1002/jsfa.10212

Ren, Q., Fan, F., Zhang, Z., Zheng, X. & DeLong, G.R. (2008). An environmental approach to correcting iodine deficiency: supplementing iodine in soil by iodination of irrigation water in remote areas. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 22, 1-8. Doi: 10.1016/j.jtemb.2007.09.003

Rengel, Z., Batten, G.D. & Crowley, D.E. (1999). Agronomic approaches for improving the micronutrient density in edible portions of field crops. *Field Crops Research* 60, 27–40. Doi:10.1016/S0378-4290(98)00131-2

Ros, G., Van Rotterdam, A., Bussink, D. & Bindraban, P. (2016). Selenium fertilization strategies for bio-fortification of food: an agro-ecosystem approach. *Plant and Soil* 404, 99–112. Doi: 10.1007/s11104-016-2830-4

Rotruck, J.T., Pope, A.L., Ganther, H.E., Swanson, A.B., Hafeman, D.G. & Hoekstra, W.G. (1973). Selenium: Biochemical role as a component of glutathione peroxidase. *Science* 179, 588–590. Doi: 10.1126/science.179.4073.588

Rot, G.R. & Das, P. (2003). Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. *Agronomie*, 23 (1), pp.3-11. Doi: 10.1051/agro:2002073

Rouphael, Y. & Kyriacou, M.C. (2018). Enhancing quality of fresh vegetables through salinity eustress and biofortification applications facilitated by soilless cultivation. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1–6. Doi: 10.3389/fpls.2018.01254

Römheld, V. and Marschner, H., (1986). Evidence for a specific uptake system for iron phytosiderophores in roots of grasses. *Plant Physiology*, 80, 175-180. Doi:10.1104/pp.80.1.175

Ruel, M.T. & Alderman, H. (2013). Nutrition-sensitive interventions and programmes: how can they help to accelerate progress in improving maternal and child nutrition? (and the Maternal and Child Nutrition Study Group), *Lancet*, 382, 536-551. Doi: 10.1016/S0140-6736(13)60843-0

Ruttanaruangboworn, A., Chanprasert, W., Tobunluepop, P. & Onwimol, D. (2017). Effect of seed priming with different concentrations of potassium nitrate on the pattern of seed imbibition and germination of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, 16 (3), 605–613. Doi:10.1016/S2095-3119(16)61441-7.

Saha, R., Saha, N. Donofrio, R.S. & Bestervelt, L.L. (2012). Microbial Siderophores: A mini review. *Journal of Basic Microbiology*, 52, 1–15. Doi:10.1002/jobm.201100552

Samur, G. (2006). Vitaminler, Mineraller ve Sağlığımız, T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Gıda Güvenliği Daire Başkanlığı.

Saranya, N., Renugadevi, J., Raja, K., Rajashree, V., Hemalatha, G., (2017). Seed priming studies for vigour enhancement in onion CO onion (5). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6 (3), 77–82.

Saleem, I., Javid, S., Bibi, F., Ehsan, S., Niaz, A. & Ahmad, Z. A. (2016). Biofortification of maize grain with zinc and iron by using fertilizing approach. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 7 (4), 1–6. Doi: 10.9734/JAERI/2016/24532

Saltzman, A., Birol, E., Bouis, H.E., Boy, E., De Moura, F.F., Islam, Y. & Pfeiffer, W.H. (2013). Biofortification: Progress toward a more nourishing future. *Global Food Security* 2, 9–17. Doi:10.1016/j.gfs.2012.12.003

Savithri, P., Perumal, R. & Nagarajan, R. (1999). Soil and crop management technologies for enhancing rice production under micronutrient constraints. In Resource management in rice systems: nutrients. (Dordrecht: Springer), 121–135.

Schiavon, M. & Pilon-Smits, E.A.H. (2017). Selenium biofortification and phytoremediation phytotechnologies: A Review. *Journal of Environmental Quality* 46, 10-19. Doi: 10.2134/jeq2016.09.0342

Schalk, I.J., Hannauer, M., Braud, A. (2011). New roles for bacterial siderophores in metal transport and tolerance. *Environmental Microbiology* 13, (11), 2844–54. Doi: 10.1111/j.1462-2920.2011.02556.x.

Seppanen, M.M., Kontturi, J., Heras, I.L., Nadrid, Y., Camara, C. & Hartikainen, H. (2010). Agronomic biofortification of Brassica with selenium-enrichment of SeMet and its identification in Brassica seeds and meal. *Plant and Soil*, 337, 273–283. Doi: 10.1007/s11104-010-0523-y

Singh, Y.P. & Mann, J. S. (2007). Interaction effect of sulphur and zinc in groundnut (*Arachis hypogaea*) and their availability in tonk district of rajasthan. *Indian Journal of Agronomy*, 52 (1), 70–73. Doi: 10.59797/ija.v52i1.4894

Singh, R., Prasad, S.K. & Singh, M.K. (2014). Effect of nitrogen and zinc fertilizer on Zn biofortification in pearl millet (*Pennisetum glaucum*). *Indian Journal of Agronomy* 59 (3): 474-476. Doi: 10.59797/ija.v59i3.5635

Singh, U., Praharaj, C. S., Chaturvedi, S. K. & Bohra, A. (2016). “Biofortification: Introduction, approaches, limitations, and challenges,” in Biofortification of food crops 3-18 (New Delhi: Springer).

Sors, T.G., Ellis, D.R., Gun, N.N., Lahner, B., Lee, S., Leustek, T., Pickering, I. & Salt, D., (2005). Analysis of sulfur and selenium assimilation in *Astragalus* plants with varying capacities to accumulate selenium. *Plant Journal* 42, 785-797. Doi: 10.1111/j.1365-313X.2005.02413.x

Swarup, G., Cohen, S., and Garbers, D. L. (1981). Selective dephosphorylation of proteins containing phosphotyrosine by alkaline phosphatases. *Journal of Biological Chemistry*, 256, (15), 8197–8201.

Tariq, M., Hameed, S., Malik, K. A. & Hafeez, F. Y. (2007). Plant root associated bacteria for zinc mobilization in rice. *Pakistan Journal of Botany*, 39 (1), 245.

Terrin, G., Canani, R.B., di Chiara, M., Pietravalle, A., Aleamdri, V., Conte, F. & De Curtis, M. (2015). Zinc in early life: a key element in the fetus and preterm neonate. *Nutrients*, 7, 10427–10446. Doi: 10.3390/nu7125542

Tewari., R.K. Kumar, P. & Sharma, P.N. (2005). Signs of oxidative stress in the chlorotic leaves of iron starved plants. *Plant Science* 169 (6):1037–45. Doi: 10.1016/j.plantsci.2005.06.006.

Turan, M. & Horuz, A. (2012) Bitki Beslemenin Temel İlkeleri. Bitki Besleme. Gübretaş Rehber Kitaplar Dizisi, Ankara.

Valença, A.W., Bake, A., Brouwer, I.D. & Gillera, K.E., (2017). Agronomic biofortification of crops to fight hidden hunger in sub-Saharan Africa. *Global Food Security*, 12, 8-14. Doi:10.1016/j.gfs.2016.12.001

Wang, Z., Liu, Q., Pan, F., Yuan, L. & Yin, X. (2015). Effects of increasing rates of zinc fertilization on phytic acid and phytic acid/zinc molar ratio in zinc biofortified wheat. *Field Crops Research*, 184, 58–64. Doi: 10.1016/j.fcr.2015.09.007

Wei, Y., Shohag, M.J.I., Yang, X. & Yibin, Z., (2012). Effects of foliar iron application on iron concentration in polished rice grain and its bioavailability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 10,1-5. Doi: 10.1021/jf3036462

Welch, R.M. & Graham, R.D. (2004). Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition

perspective. *Journal of Experimental Botany*, 55, 353-364. Doi: 10.1093/jxb/erh064

Wiesner-Reinhold, M., Schreiner, M., Baldermann, S., Schwarz, D., Hanschen, F. S., Kipp, A.P., Rowan, D.D., Bentley-Hewitt, K.L. & McKenzie, M.J. (2017). Mechanisms of selenium enrichment and measurement in brassicaceous vegetables, and their application to human health. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1365. Doi: 10.3389/fpls.2017.01365

World Health Organization/Food and Agricultural Organization of the United W.T. (2017). Trends in Food Science & Technology. www.who.int/nutrition/publications/guide_food_fortification_micronutrients.pdf (Accessed Dec 20, 2024).

Xue, T., Hartikainen, H. & Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil* 237, 55–61. Doi: 10.1023/A:1013369804867

Ylaranta, T. (1983). Effect of added selenite and selenate on the selenium content of Italian rye grass (*Lolium multiflorum*) in different soils. *Annales Agriculturae Fenniae*, 22, 139-151.

Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Gultekin, I., Karanlık, S., Bagci, S.A. & Cakmak, I. (1997). Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat grown on zinc-deficient calcareous soils in Central Anatolia. *Journal of Plant Nutrition*, 20, 461–471. Doi: 10.1080/01904169709365267

Yu, S.Y., Zhu, Y.J. & Li, W.G. (1997). Protective role of selenium against hepatitis b virus and primary liver cancer in

Qidong, *Biological Trace Element Research*, 56, 117–124. Doi: 10.1007/BF02778987

Yu, M.W., Horng, I.S., Chiang, Y.C., Liaw, Y.F. & Chen, C.J. (1999). Plasma selenium levels and the risk of hepatocellular carcinoma among men with chronic hepatitis virus infection. *American Journal of Epidemiology*, 150, 367–374. Doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a010016

Yuan, L., Wu, L., Yang, C. & Quin, L.V. (2013). Effects of iron and zinc foliar applications on rice plants and their grain accumulation and grain nutritional quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93 (2):254–61. Doi:10.1002/jsfa.5749

Zimmermann, M.B., Jooste, P.L. & Pandav, C.S. (2008). Iodine-deficiency disorders. *Lancet*, 372, 1251-1262. Doi: 10.1016/S0140-6736(08)61005-3

Zimmermann, M.B. & Andersson, M. (2012). Assessment of iodine nutrition in populations: past, present, and future. *Nutrition Reviews*, 70, 553-570. Doi: 10.1111/j.1753-4887.2012.00528.x

Zhu, C., Naqvi, S., Gomez-Galera, S., Pelacho, A. M., Capell, T. & Christou, P. (2007). Transgenic strategies for the nutritional enhancement of plants. *Trends in Plant Science*, 12, 548–555. Doi: 10.1016/j.tplants.2007.09.007

